


BUREAU DES LONGITUDES
Institut de Mécanique Céleste
et de Calcul des Éphémérides

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

CONNAISSANCE
DES TEMPS

2 0 0 9


EDP
SCIENCES

BUREAU DES LONGITUDES

**INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE
ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES**

OBSERVATOIRE DE PARIS

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES 2009

CONNAISSANCE DES TEMPS

AUTRES PUBLICATIONS DU MÊME AUTEUR

Publications éditées par EDP Sciences

Annuaire du Bureau des longitudes. Guide de données astronomiques 2009.

Agenda astronomique pour 2009.

Le Passage de Vénus, IMCCE et observatoire de Paris, 2004

Introduction aux éphémérides astronomiques. Supplément explicatif à la Connaissance des Temps (1997) (réédition en 1998).

Le Manuel des éclipses, édition en 2005.

Publication éditée par Edinautic, Paris

Éphémérides Nautiques 2009.

Publications éditées par l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides

Suppléments à la Connaissance des Temps.

Éphémérides des satellites faibles de Jupiter (VI, VII, VIII, IX) et de Saturne (IX) pour 2009.

Phénomènes et configurations des satellites galiléens de Jupiter pour 2009.

Configurations des huit premiers satellites de Saturne pour 2009.

Le Calendrier Républicain (réédition en 1994).

Notes scientifiques et techniques de l'Institut de Mécanique Céleste.

Encyclopédie scientifique de l'Univers.

La physique (1981).

La Terre, les eaux, l'atmosphère (réédition en 1984), épuisé.

Les étoiles, le système solaire (réédition en 1986).

La galaxie, l'univers extragalactique (réédition en 1988).

Publications éditées par l'Observatoire de Paris

Promenade dans le système solaire (CDROM).

Les rendez-vous de Vénus (CDROM).

Rassemblement de 12 000 pages fac-similé des XVIII^e et XIX^e siècles, des récits des voyages d'astronomes à l'occasion des passages de Vénus devant le Soleil.

Vénus : le 8 juin 2004 (CDROM).

Dédié au passage de Vénus sur le disque du Soleil.

AVANT-PROPOS

La *Connaissance des Temps* est, de toutes les éphémérides publiées de nos jours, la plus ancienne puisque son premier volume concerne l'année 1679. Il s'agit alors comme l'indique son auteur dans la dédicace AU ROY, de publier cet ouvrage « après l'avoir épuré de toutes les choses ridicules dont ces sortes d'Ouvrages ont été remplis jusqu'à présent ». Il s'agit donc bien, et de décennie en décennie cela se confirmera, d'une éphéméride spécifiquement scientifique. L'évolution, au cours du temps, suivra les progrès de la science, fera place aux nouvelles découvertes, introduira des théories et des concepts nouveaux, fournira les éphémérides des corps célestes avec une précision toujours accrue.

La *Connaissance des Temps*, titre de ses débuts, éphéméride à parution annuelle, s'est trouvée placée sous des responsabilités diverses, puis pour une longue période sous l'autorité de l'Académie Royale des Sciences. Cette dernière désignait celui de ses membres qui devrait surveiller et réaliser la mise en œuvre. Quand, en 1795, le Bureau des longitudes est créé, la réalisation de la *Connaissance des Temps* lui est attribuée. L'éphéméride, qui a déjà été modifiée à plusieurs reprises, poursuit son évolution au XIX^e siècle. Il en sera de même au XX^e siècle où, par exemple, en 1979, sont introduits les développements en polynômes de Tchebychev.

Les calculateurs de la fin du XVII^e siècle et du siècle suivant sont organisés en Service des calculs au début du XIX^e siècle sous la responsabilité du Bureau des longitudes. Cette situation prévaudra pratiquement jusqu'en 1961 où un Service des calculs et de mécanique céleste voit le jour. L'ajout de « mécanique céleste » traduit le fait que, désormais, à côté des calculateurs, des astronomes en assureront l'encadrement et développeront des recherches propres à améliorer les éphémérides. Débute alors une tâche de rénovation fondée sur l'établissement de théories nouvelles. Elles remplaceront progressivement celles antérieurement employées pour les objets du système solaire. Ainsi la *Connaissance des Temps* s'est successivement fondée sur l'ensemble des travaux menés au Service des calculs des éphémérides et de mécanique céleste du Bureau des longitudes devenu, en 1998, l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides (IMCCE). Cet institut de l'observatoire de Paris mène des recherches sur lesquelles se fondent les calculs nécessaires à la formation des éphémérides qu'elle contient et en assure la parution sous la responsabilité scientifique du Bureau des longitudes.

L'IMCCE a entrepris une rénovation de la *Connaissance des Temps*, décrite dans les pages qui suivent, qui prend en compte les nouvelles résolutions de l'UAI, propose une forme tabulée et présente l'ouvrage accompagné d'éphémérides sur support électronique. Par ailleurs, depuis 2004, des chapitres descriptifs ont été insérés, fournissant aux utilisateurs des indications précieuses sur les éphémérides et des thèmes connexes. En ce sens a été largement développée l'idée présentée dans la dédicace du volume pour l'an 1680 qui indiquait : « on l'a augmenté de plusieurs Traitez curieux qu'on a cru utiles au public. On y en ajoutera tous les ans de nouveaux ». La nouveauté n'est peut-être pas aussi facile à « ajouter » tous les ans aussi bien à notre époque que du temps de la création de l'éphéméride. Gageons que les auteurs des différents chapitres porteront à la connaissance du public toutes les informations nouvelles provenant des travaux et des recherches qu'ils ont menés.

La *Connaissance des Temps* de notre époque, héritière d'une longue tradition au service des astronomes, des navigateurs, s'adresse à tous ceux qui ont besoin de la meilleure précision disponible en fonction des théories sur lesquelles elle se fonde.

A. Lebeau
Président du Bureau des longitudes

PRÉFACE

La *Connaissance des Temps* est un ouvrage d'éphémérides de précision. Depuis 2004, elle présente à la fois :

- des données numériques qui permettent de calculer les positions de nombreux objets du système solaire ;
- des textes scientifiques qui donnent les bases d'astronomie fondamentale et de mécanique céleste nécessaires à la compréhension et l'utilisation des éphémérides.

La première partie de cet ouvrage comprend huit chapitres. Les cinq premiers donnent l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées. Le sixième chapitre donne une description des éphémérides INPOP concernant le Soleil, les planètes et la Lune. Le septième chapitre concerne les modèles orbitaux des satellites naturels. Il accompagne l'introduction, à partir de 2008, des nouvelles éphémérides des satellites galiléens, L1, des satellites de Mars, NOE-4-06 et d'Uranus, NOE-7-06. Le huitième chapitre donne les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie de cet ouvrage contient sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes principales, de Pluton, Cérès, Pallas, Junon et Vesta et les coordonnées différentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus. Dans cette partie figurent les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'Union Astronomique Internationale (UAI) : angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle s .

De nouvelles théories des mouvements des corps du système solaire sont en développement à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Elles sont introduites progressivement dans nos éphémérides. Ainsi l'édition 2008, avec l'introduction des nouvelles éphémérides de satellites de Mars de Jupiter et d'Uranus, et après celle des nouvelles éphémérides planétaires en 2007, représenta une étape importante de la rénovation de l'ouvrage que nous avons engagée afin de publier les données les plus précises et de prendre en compte les dernières recommandations des instances internationales.

Rappelons que dans ce but également, des changements ont ainsi été effectués à partir de la *Connaissance des Temps* 2006 :

- Les nouvelles résolutions de l'UAI adoptées en 2000 et impliquant l'utilisation de la nouvelle théorie de précession-nutation de la Terre, UAI2000, et l'utilisation de l'origine non-tournante sont appliquées. Les valeurs des variables liées aux nouveaux concepts sont données pour l'année en cours.
- La représentation des coordonnées en développements polynomiaux est maintenant abandonnée dans les pages de l'ouvrage, au profit d'une représentation tabulée, mais reste en usage sous forme

de fichiers électroniques accessibles à l'utilisateur.

– Un logiciel d'éphémérides électroniques est fourni sur le CDROM accompagnant l'ouvrage. Les tabulations de l'ouvrage permettent toujours une interpolation précise, pour le Temps sidéral, les nutations, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'UAI et les coordonnées du Soleil, des planètes et de la Lune. Leur but principal, cependant, est de permettre la vérification du bon usage du logiciel ou de connaître l'allure annuelle des variations. Il faut noter que l'usage de ce logiciel permet le calcul de séries de positions et de vitesses pour un certain nombre d'objets du système solaire, les calculs de coordonnées horizontales et celui de levers et de couchers.

Créée en 1679 par Joachim Dalancé, la *Connaissance des Temps* est publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795. Ce volume est le 331^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.

L'IMCCE publie aussi d'autres éphémérides : le *Guide de données astronomiques - Annuaire du Bureau des longitudes*, éphémérides plus particulièrement destinées au grand public et aux astronomes amateurs, les *Éphémérides Nautiques*, destinées aux marins, les *Éphémérides Aéronautiques* destinées aux aviateurs. Il publie aussi des suppléments à la *Connaissance des Temps* donnant les configurations et les phénomènes des satellites galiléens et des huit premiers satellites de Saturne, ainsi que des éphémérides de certains petits satellites de Jupiter et de Saturne.

W. Thuillot

*Directeur de l'Institut de mécanique céleste
et de calcul des éphémérides*

D. Hestroffer, M. Birlan
Responsables de la publication

Réalisation du CDROM : Le logiciel fourni sur le CDROM a été développé par J. Normand.

Collaboration technique : S. Lemaître-Pottier, J. Normand, Ch. Ruatti.

Remerciements : Nous remercions vivement A. Fienga pour sa collaboration à la construction des tables des éphémérides planétaires, M. Chapront-Touzé qui nous a autorisé à reproduire de larges extraits du chapitre 4 qu'elle avait rédigé pour l'*Introduction aux éphémérides astronomiques*, P. Teyssandier qui nous a aidé dans la traduction de la section 3.2 et G. Francou pour ses conseils lors de l'élaboration des éphémérides. Le comité de rédaction composé de A. Fienga, M. Birlan, D. Gambis, J.-L. Simon et W. Thuillot a réalisé la refonte complète de l'ouvrage sur les éditions 2004 à 2007.

LISTE DES ACRONYMES

AIG	Association Internationale de Géodésie (voir aussi IAG)
BCRS	Barycentric Celestial Reference System
BEP	Basic Earth Parameters
BIH	Bureau international de l'heure
BIPM	Bureau international des poids et mesures
BNM	Bureau national de métrologie
BRS	Barycentric Reference System
CCDS	Comité consultatif pour la définition de la seconde
CEO	Celestial Ephemeris Origin
CEP	Celestial Ephemeris Pole
CERGA	Centre d'études et de recherches géodynamiques et astronomiques
CGPM	Conférence générale des poids et mesures
CIO	Celestial Intermediate Origin
CIP	Celestial Intermediate Pole
CIPM	Comité international des poids et mesures
CIRS	Celestial Intermediate Reference System
CNES	Centre national d'études spatiales
DGRS	Dynamical Geocentric Reference System
DORIS	Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite
EOP	Earth Orientation Parameters
ERA	Earth Rotation Angle
ET	Ephemeris Time (voir aussi TE)
FCN	Free Core Nutation
GAIA	Global Astrometris Interferometer for Astrophysics
GCRS	Geocentric Celestial Reference System
GMST	Greenwich Mean Sidereal Time
GPS	Global Positioning System
GRS	Geocentric Reference System
GRT	General Relativity Theory
GST	Greenwich Sidereal Time
IAG	International Association of Geodesy (voir aussi AIG)
IAU	International Astronomical Union (voir aussi UAI)
ICRF	International Celestial Reference Frame
ICRS	International Celestial Reference System
IERS	International Earth rotation and Reference systems Service
IGS	International GPS Service
IMCCE	Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides
IRM	International Reference Meridian

ITRF	International Terrestrial Reference Frame
ITRS	International Terrestrial Reference System
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KGRS	Kinematical Geocentric Reference System
LLR	Lunar Laser Ranging
LOD	Length of Day
MERIT	Monitoring of Earth Rotation and Inter-comparison of Techniques
NRO	Non Rotating Origin (origine non-tournante)
PFCN	Prograde Free Core Nutation
PPN	Paramètres post-newtoniens
PRT	Paramètres de rotation de la Terre
RRT	Repère de référence terrestre
SI	Système international d'unités
SIM	Space Interferometry Mission
SLR	Satellite Laser Ranging
SRT	Système de référence terrestre
TAI	Temps atomique international
TCB	Temps coordonnée barycentrique
TCG	Temps coordonnée géocentrique
TDB	Temps dynamique barycentrique
TDT	Temps dynamique terrestre
TE	Temps des éphémérides (voir aussi ET)
TEO	Terrestrial Ephemeris Origin
TIO	Terrestrial Intermediate Origin
TIRS	Terrestrial Intermediate Reference System
TT	Temps terrestre
TU	Temps universel (voir aussi UT)
UAI	Union Astronomique Internationale (voir aussi IAU)
UGGI	Union Géodésique et Géophysique Internationale
UT	Universal Time (voir aussi TU)
UTC	Universal Time Coordinated (Temps universel coordonné)
VLBA	Very Long Baseline Array
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

NOTATIONS

Les notations sont précisées et expliquées dans chacun des chapitres où elles sont introduites. Nous nous sommes efforcés de garder des notations cohérentes sur l'ensemble de l'ouvrage.

Les symboles utilisés suivent en général les recommandations de l'Union Astronomique Internationale, toutefois l'origine des temps J2000.0 est notée J2000.

Pour les unités nous avons utilisé les symboles définis dans la section 2.2 mais aussi les symboles suivants :

cpsd	cycle par jour sidéral
mas	milliseconde de degré ($10^{-3}''$)
ms	milliseconde (10^{-3} s)
μ as	microseconde de degré ($10^{-6}''$)
μ s	microseconde (10^{-6} s)
ns	nanoseconde (10^{-9} s)

D'un point de vue typographique, les vecteurs sont représentés par des caractères gras et les points par des caractères romains.

ERRATA

Connaissances des Temps 2008

– page I. 105, notation des longitudes moyennes du Soleil et de la Lune, *il faut lire* :

$$\begin{aligned} s = & -XY/2 + 0''.000\,094 + 0''.003\,808t - 0''.000\,120t^2 - 0''.072\,574t^3 - 0''.002\,641 \sin \Omega \\ & - 0''.000\,064 \sin 2\Omega - 0''.000\,012 \sin(2\lambda_{\odot} + \Omega) - 0''.000\,011 \sin(2\lambda_{\odot} - \Omega) \\ & + 0''.000\,744t^2 \sin \Omega + 0''.000\,057t^2 \sin 2\lambda_{\odot} + 0''.000\,010t^2 \sin 2\lambda_{\oplus}, \end{aligned}$$

λ_{\odot} et λ_{\oplus} étant respectivement les longitudes moyennes du Soleil et de la Lune.

LES SERVEURS DE L'INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

Les serveurs sur Internet

<http://www.imcce.fr>

<http://www.imcce.eu>

L'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides diffuse de nombreuses informations, périodiquement remises à jour, grâce à son serveur sur le réseau *Internet*. On y trouve, outre des informations générales sur les activités de l'Institut de mécanique céleste, des données scientifiques concernant les objets du système solaire :

- éphémérides de planètes, planètes naines, comètes, astéroïdes et satellites, phénomènes ;
- données sur les objets du système solaire ;
- éléments orbitaux de comètes ;
- données sur les éclipses de Soleil ;
- images astronomiques ;
- bases de données astrométriques.

Ces serveurs sont accessibles aux adresses <http://www.imcce.fr> et <http://www.imcce.eu>.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	I. iii
Préface	I. v
Liste des acronymes	I. vii
Notations	I. ix
Errata	I. ix
Les serveurs de l'IMCCE	I. x
Table des matières	I. xi

PREMIÈRE PARTIE : INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES I. 1

1. Définitions et données astronomiques I. 3

1.1. Introduction	I. 3
1.2. Systèmes d'unités	I. 4
1.3. Le système UAI de constantes astronomiques	I. 8
1.4. Données concernant les corps du système solaire	I. 16
1.5. Autres constantes et unités	I. 31
1.6. Bibliographie.	I. 34

2. Échelles de temps I. 39

2.1. Introduction. Le temps et les astronomes	I. 39
2.2. Évolution des échelles de temps	I. 40
2.3. Le temps universel (TU ou UT, Universal Time)	I. 42
2.4. Le temps atomique international (TAI)	I. 43
2.5. Le temps universel coordonné (UTC, Universal Time Coordinated)	I. 46
2.6. Le temps des éphémérides (TE ou ET, Ephemeris Time)	I. 49
2.7. Les échelles de temps relativistes	I. 50
2.8. Bibliographie	I. 55

3. Systèmes de référence I. 63

3.1. Introduction aux systèmes de référence	I. 63
3.2. Systèmes de référence relativistes	I. 65
3.3. Systèmes de référence dynamiques	I. 72
3.4. Le système de référence céleste international ICRS	I. 80
3.5. Le système international de référence terrestre ITRS	I. 86

3.6. Passage du système de référence céleste géocentrique au système de référence terrestre	I. 96
3.7. Bibliographie	I. 110
4. Rotation de la Terre	I. 117
4.1. Introduction des phénomènes physiques et observations	I. 117
4.2. La précession	I. 123
4.3. Modèles de nutation	I. 129
4.4. Détermination des paramètres d'orientation de la Terre	I. 139
4.5. Bibliographie	I. 148
5. Changements de coordonnées	I. 151
5.1. Notions préliminaires	I. 151
5.2. Coordonnées usuelles	I. 153
5.3. Formules de changements de coordonnées	I. 158
5.4. Application des résolutions de l'UAI 2001 aux changements de coordonnées	I. 166
5.5. Bibliographie	I. 170
6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 171
6.1. Introduction	I. 171
6.2. Modèle dynamique	I. 172
6.3. Ajustement aux observations	I. 173
6.4. Bibliographie	I. 176
7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 177
7.1. Introduction	I. 177
7.2. Modèle dynamique	I. 177
7.3. Ajustement aux observations	I. 178
7.4. Représentation des solutions	I. 180
7.5. Bibliographie	I. 182
8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i>	I. 183
8.1. Présentation des éphémérides	I. 183
8.2. Sources des éphémérides	I. 187
8.3. Utilisation des éphémérides tabulées	I. 188
8.4. Utilisation des éphémérides électroniques	I. 190
8.5. Précision des éphémérides	I. 192
8.6. Bibliographie	I. 196

DEUXIÈME PARTIE : ÉPHÉMÉRIDES POUR 2009	II. 1
Temps sidéral, nutation	II. 3
Temps sidéral, nutation en longitude et obliquité	II. 4
Angle de rotation de la Terre	II. 9
Angle de rotation de la Terre, équation des origines	II. 10
Système céleste intermédiaire	II. 15
Coordonnées du CIP X et Y, Angle s	II. 16
Soleil	II. 21
Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite, déclinaison, temps de passage	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30
Lune	II. 35
Ascension droite, déclinaison, distance	II. 36
Planètes principales	II. 53
Coordonnées héliocentriques	II. 54
Mercure	II. 54
Vénus	II. 58
Mars	II. 60
Jupiter, Saturne, Uranus, Neptune	II. 61
Coordonnées géocentriques	II. 62
Mercure	II. 62
Vénus	II. 66
Mars	II. 70
Jupiter	II. 74
Saturne	II. 78
Uranus	II. 82
Neptune	II. 86
Pluton et petites planètes	II. 91
Coordonnées géocentriques	II. 92
Pluton	II. 92
Cérès	II. 93
Pallas	II. 94
Junon	II. 95

Vesta	II. 96
Satellites de Mars	II. 97
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations Est . . .	II. 98
Phobos	II. 98
Déimos	II. 106
Satellites de Jupiter	II. 109
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations . . .	II. 110
Io	II. 110
Europe	II. 113
Ganymède	II. 115
Callisto	II. 116
Satellites de Saturne	II. 117
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations . . .	II. 118
Mimas	II. 118
Encelade	II. 124
Téthys	II. 128
Dioné	II. 131
Rhéa	II. 133
Titan	II. 134
Hypérion	II. 135
Japet	II. 135
Satellites d'Uranus	II. 137
Coordonnées différentielles aux heures les plus proches des plus grandes élongations . . .	II. 138
Miranda	II. 138
Ariel	II. 142
Umbriel	II. 145
Titania	II. 147
Obéron	II. 148
Calendrier	II. 149
Composition de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides	II. 153
Composition du Bureau des longitudes	II. 155

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION AUX ÉPHÉMÉRIDES

Chapitre 1. Définitions et données astronomiques	I. 3
Chapitre 2. Échelles de temps	I. 39
Chapitre 3. Systèmes de référence	I. 63
Chapitre 4. Rotation de la Terre	I. 117
Chapitre 5. Changements de coordonnées	I. 151
Chapitre 6. Mouvement des planètes et de la Lune : la solution INPOP	I. 171
Chapitre 7. Modèles orbitaux des satellites naturels	I. 177
Chapitre 8. Explications liées aux éphémérides de la <i>Connaissance des Temps</i> ...	I. 183

CHAPITRE 1

DÉFINITIONS ET DONNÉES ASTRONOMIQUES

A. BEC-BORSENBURGER, J.-L. SIMON, D. HESTROFFER ET M. BIRLAN

1.1. INTRODUCTION

L'établissement des éphémérides, prévision des positions des corps célestes, dépend du système d'unités et de la valeur des constantes utilisées. En plus du système fondamental d'unités, commun à toutes les sciences, les astronomes utilisent, par commodité puisqu'il s'agit de représenter des mouvements à grande échelle, un autre système dit *système d'unités astronomiques*. C'est au cours de la Conférence internationale des étoiles fondamentales tenue à Paris du 18 au 21 mai 1896 que fut établi un système de constantes astronomiques sur lequel les astronomes étaient invités à fonder leurs calculs. Ce système de constantes, international dès l'origine, est entré en application immédiatement et est resté en vigueur jusqu'à l'adoption par la douzième assemblée générale de l'Union Astronomique Internationale (UAI), réunie à Hambourg en 1964, du système UAI 1964 (UAI, 1966). Ce dernier système fut effectivement introduit dans les éphémérides à partir de 1968. La seizième assemblée générale de l'UAI réunie à Grenoble en 1976, le modifia pour donner naissance au système UAI 1976 (UAI, 1977) qui fut introduit dans les éphémérides en 1984.

Dans ce chapitre nous allons présenter ce système ainsi que des données plus récentes et actuellement en usage. Nous noterons :

- IERS 2003, les données issues du système de référence standard défini par le Service International de Rotation de la Terre (IERS, International Earth rotation and Reference systems Service) ;
- Seidelmann et al. 2002, les données publiées par le *groupe de travail* commun à l'UAI et à l'Association Internationale de Géodésie (IAG, International Association of Geodesy) sur les coordonnées cartographiques et les éléments rotationnels des planètes et des satellites ;
- Fukushima 2000, les propositions du *groupe de travail* de l'UAI sur les constantes astronomiques.

1.2. SYSTÈMES D'UNITÉS

1.2.1. Système fondamental

Le système pratique d'unités de mesure est le Système International d'unités dont l'abréviation internationale est SI. On y distingue deux classes d'unités, les unités de base et les unités dérivées.

Le Système International est fondé sur sept unités de base (Table 1.1) considérées comme indépendantes du point de vue dimensionnel.

Table 1.1. Unités de base du Système International d'unités (SI).

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps	seconde	s
Intensité de courant électrique	ampère	A
Température thermodynamique	kelvin	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

Les définitions de ces unités ont changé au cours du temps.

Compte tenu de leur précision intrinsèque et des incertitudes de mise en œuvre, chacune de leurs définitions successives est compatible avec la précédente tout en permettant des réalisations plus exactes.

Les dernières définitions publiées par le Bureau international des poids et mesures (BIPM, 1998) pour les sept unités de base sont les suivantes, les sigles CGPM désignant la Conférence générale des poids et mesures et CIPM, le Comité international des poids et mesures.

Unité de longueur : le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de 1/299 792 458 seconde (17^e CGPM, 1983).

Unité de masse : le kilogramme est l'unité de masse ; il est égal à la masse du prototype international du kilogramme (1^{er} CGPM, 1889 et 3^e CGPM, 1901). Ce prototype international en platine iridié est conservé au Bureau International.

Unité de temps : la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (13^e CGPM, 1967).

Unité de courant électrique : l'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes, de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces conducteurs une force égale à 2×10^{-7} newton par mètre de longueur (CIPM, 1946 et 9^e CGPM, 1948).

Unité de température thermodynamique : le kelvin est la fraction 1/273.16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau (13^e CGPM, 1967).

Unité de quantité de matière : la mole est la quantité de matière d'un système contenant autant d'entités élémentaires qu'il y a d'atomes dans 0.012 kilogramme de carbone 12. Lorsqu'on emploie la mole, les entités élémentaires doivent être spécifiées et peuvent être des atomes, des molécules, des ions, des électrons, d'autres particules ou des groupements spécifiés de telles particules (14^e CGPM, 1971). Remarquons que, dans la définition de la mole, il est entendu que l'on se réfère à des atomes de carbone 12 non liés, au repos et dans leur état fondamental.

Unité d'intensité lumineuse : la candela est l'intensité lumineuse, dans une direction donnée, d'une source qui émet un rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} hertz et dont l'intensité énergétique dans cette direction est 1/683 watt par stéradian (16^e CGPM, 1979).

Les unités dérivées sont formées par combinaison des unités de base à l'aide de relations algébriques liant les grandeurs correspondantes (*cf.* Bureau des longitudes, 1981).

La classe des unités supplémentaires d'angle plan et d'angle solide, le radian et le stéradian, a été abrogée par la 11^e CGPM, (1995). Ces unités sont désormais interprétées comme unités dérivées sans dimension.

Le radian est l'angle plan compris entre deux rayons qui, sur la circonférence d'un cercle, interceptent un arc de longueur égale à celle du rayon. Il a pour symbole rad.

Le stéradian est l'angle solide qui, ayant son sommet au centre d'une sphère, découpe sur la surface de cette sphère une aire égale à celle d'un carré ayant pour côté le rayon de la sphère. Il a pour symbole sr.

Par ailleurs, le Comité international des poids et mesures a adopté en 1996 une nouvelle classification des unités en dehors du SI qui peuvent être utilisées avec le SI. Parmi celles-ci, on donne dans la table 1.2 les unités usuelles de temps et d'angle employées quotidiennement.

Table 1.2. Unités en dehors du SI, en usage avec le SI.

Nom	Symbole	Valeur en unité SI
minute	min	1 min = 60 s
heure	h	1 h = 60 min = 3600 s
jour	d	1 d = 24 h = 86400 s
degré	°	1° = ($\pi/180$) rad
minute	'	1' = (1/60)° = ($\pi/10\,800$) rad
seconde	"	1" = (1/60)' = ($\pi/648\,000$) rad

Il est recommandé que le degré soit subdivisé de manière décimale plutôt qu'en utilisant la minute et la seconde.

1.2.2. Système UAI d'unités astronomiques

Unités de base

Les trois unités de base du système d'unités astronomiques, complétant le SI, sont réunies dans la table 1.3.

Table 1.3. Unités de base du système UAI d'unités astronomiques.

Grandeur	Unité	Symbole
Longueur	unité astronomique	ua
Temps	jour	d
Masse	masse du Soleil	M_{\odot}

Définitions

L'unité de temps est le jour, égal à 86 400 secondes du Système International.

L'unité de masse est la masse du Soleil.

L'unité de longueur ou unité de distance est le demi-grand axe d'une orbite que décrirait autour du Soleil une planète de masse négligeable, non perturbée, dont le moyen mouvement est égal à k radians par jour, k étant la constante de Gauss, les unités de temps et de masse étant celles que l'on vient de définir. La valeur de k , donnée dans la table 1.6, est celle adoptée par l'UAI en 1938 (UAI, 1939).

Unités auxiliaires

On utilise comme unité auxiliaire de temps, l'année julienne définie comme étant égale à 365.25 jours, et le siècle julien égal à 100 années juliennes, soit 36 525 jours.

Les unités auxiliaires de longueur sont le parsec (pc) et l'année de lumière (al). Le parsec est la distance d'une étoile dont la parallaxe annuelle est égale à une seconde de degré, c'est-à-dire, la distance à laquelle une unité astronomique est vue sous un angle d'une seconde de degré. L'année de lumière est le trajet parcouru par la lumière pendant une année julienne dans un espace-temps vide de matière.

Unités en mécanique céleste relativiste

Dans le cadre de la mécanique relativiste (UAI, 2000) les unités sont celles du SI pour un système de référence barycentrique dont le temps-coordonnée est le TCB et pour un système de référence géocentrique dont le temps-coordonnée est le TCG (*cf.* 2.7.1). L'emploi du TDB comme temps-coordonnée d'un système barycentrique (Seidelmann et Fukushima, 1992) ou du TT comme temps-coordonnée d'un système géocentrique entraîne l'introduction de nouvelles unités de temps et de longueur afin de conserver constante la valeur de la vitesse de la lumière (*cf.* 2.7.2). En désignant par s_B et m_B les unités de temps et de longueur compatibles avec l'emploi du TDB et par s_G et m_G les unités de temps et de longueur compatibles avec l'emploi du TT, on a :

$$s_B = \frac{s}{1 - L_B} \quad m_B = \frac{m}{1 - L_B}$$

$$s_G = \frac{s}{1 - L_G} \quad m_G = \frac{m}{1 - L_G}$$

où s et m sont les unités de temps et de longueur du SI (*cf.* table 1.1).

On donne dans la table 1.6 les valeurs de L_B et L_G , cette dernière étant désormais classée par l'UAI comme constante de définition (UAI, 2000).

1.2.3. Tables de correspondance

Nous donnons, dans la table 1.4, la correspondance entre les valeurs des diverses unités de temps et, dans la table 1.5, la correspondance entre les valeurs des diverses unités de distance dans les systèmes UAI 1976 et IERS 2003.

Table 1.4. Correspondance entre les unités de temps.

	Seconde	Jour	Année julienne	Siècle julien
1 seconde	1	$1.157\,407\,407 \times 10^{-5}$	$3.168\,808\,781 \times 10^{-8}$	$3.168\,808\,781 \times 10^{-10}$
1 jour	86 400	1	$2.737\,850\,787 \times 10^{-3}$	$2.737\,850\,787 \times 10^{-5}$
1 année julienne	31 557 600	365.25	1	0.01
1 siècle julien	3 155 760 000	36 525	100	1

Table 1.5. Correspondance entre les unités de distance dans les systèmes UAI 1976 (76) et IERS 2003 (03).

	Mètre	Unités astronomiques	Année de lumière	Parsec
1 m (76)	1	$6.684\,587\,1535 \times 10^{-12}$	$1.057\,000\,834\,02 \times 10^{-16}$	$3.240\,779\,3046 \times 10^{-17}$
(03)	1	$6.684\,587\,1227 \times 10^{-12}$	$1.057\,000\,834\,02 \times 10^{-16}$	$3.240\,779\,2896 \times 10^{-17}$
1 ua (76)	149 597 870 000	1	$1.581\,250\,7336 \times 10^{-5}$	$4.848\,136\,8111 \times 10^{-6}$
(03)	149 597 870 691	1	$1.581\,250\,7409 \times 10^{-5}$	$4.848\,136\,8111 \times 10^{-6}$
1 al (76)	$9.460\,730\,472\,5808 \times 10^{15}$	63 241.077 38	1	0.306 601 395 22
(03)	$9.460\,730\,472\,5808 \times 10^{15}$	63 241.077 09	1	0.306 601 393 80
1 pc (76)	$3.085\,677\,5671 \times 10^{16}$	206 264.806 248	3.261 563 7619	1
(03)	$3.085\,677\,5813 \times 10^{16}$	206 264.806 248	3.261 563 7770	1

Vitesse de la lumière : 299 792 458 m/s.

1.3. LE SYSTÈME UAI DE CONSTANTES ASTRONOMIQUES

Le caractère des constantes astronomiques comme celui des constantes physiques fondamentales dépend des conventions adoptées pour fixer les unités et leur définition. On classe les constantes en trois catégories :

– les constantes de définition dont la valeur est fixée arbitrairement, utilisées dans les relations de définition des unités ; le choix des constantes de définition peut varier d'un système de constantes à un autre ;

- les constantes primaires, constantes nécessaires à la réduction des observations et dont les valeurs ne peuvent être déterminées qu'à partir des observations elles-mêmes ;
- les constantes dérivées déduites des constantes de définition et des constantes primaires selon des relations algébriques simples.

1.3.1. Origine des temps

Certaines constantes sont en fait des fonctions du temps. Il est donc nécessaire de choisir une origine des temps, ou *époque standard*.

L'époque standard a été définie pour l'UAI 1976, comme le premier janvier 2000 à 12 heures de l'échelle de temps utilisée (*cf.* chapitre 2). Elle correspond au début du jour julien 2 451 545.0, et est désignée par J2000.0 (UAI, 1977). Dans la suite de cet ouvrage, nous la noterons J2000. Par définition, le début d'une année julienne est séparé de l'époque standard par un nombre entier d'années juliennes. Ainsi, le début de l'année julienne 1995, désigné par 1995.0, correspond au jour julien :

$$2\,451\,545.0 - 5 \times 365.25 = 2\,449\,718.75, \text{ soit le 1 janvier 1995 à 6 heures.}$$

1.3.2. Valeurs des constantes astronomiques

La table 1.6 fournit les valeurs des constantes astronomiques dans le système UAI 1976, complété en ce qui concerne les constantes L_B , L_C et L_G , par les valeurs recommandées par les vingt-quatrième et vingt-sixième assemblées générales de l'UAI (UAI 2000, 2006). En parallèle, figurent dans la dernière colonne les valeurs de ces mêmes constantes adoptées dans le système IERS 2003 avec une estimation de leurs incertitudes.

Remarquons que la valeur de la vitesse de la lumière, qui était une constante primaire en 1976, est devenue une constante de définition depuis le changement de la définition du mètre en 1983.

1.3.3. Système des masses planétaires et données à utiliser pour le calcul des éphémérides

Masses des planètes et des principaux satellites

La table 1.7 donne les rapports de la masse du Soleil aux masses des planètes principales et de leurs satellites pour le système UAI 1976, le système IERS 1992 et les éphémérides DE405/LE405 (Standish, 1998). Notons que les masses IERS 1992 sont celles utilisées dans les théories planétaires VSOP2000 (Moisson et Bretagnon, 2001 ; Bretagnon, 2002 ; Fienga et Simon, 2004).

La table 1.8 donne les rapports des masses des principaux satellites de Jupiter, Saturne et Neptune à la masse de la planète centrale pour le système UAI 1976 et pour des systèmes plus récents.

Masses des astéroïdes

Les masses des astéroïdes sont très mal déterminées. À titre indicatif les masses des trois plus gros astéroïdes données dans les éphémérides DE405/LE405 sont, exprimées en masse solaire, :

$$4.7 \times 10^{-10} \text{ pour Cérés}$$

$$1.0 \times 10^{-10} \text{ pour Pallas}$$

$$1.3 \times 10^{-10} \text{ pour Vesta}$$

Ce sont ces valeurs qui ont été utilisées pour la construction des solutions planétaires VSOP200x

Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil

La table 1.9 donne les rayons équatoriaux R_e des planètes, de la Lune et du Soleil dans les systèmes UAI 1976 et Seidelmann et al. 2002.

Champ de gravitation des planètes et de la Lune

Pour évaluer le potentiel gravitationnel U créé par un corps du système solaire en un point extérieur à ce corps, on utilise des développements en harmoniques sphériques de coefficients C_{nk} et S_{nk} , sous la forme :

$$U = \frac{Gm}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{k=0}^n (C_{nk} \cos k\lambda + S_{nk} \sin k\lambda) P_{nk}(\sin \varphi) \right]$$

où G désigne la constante de la gravitation universelle, m la masse du corps et a son rayon équatorial ; λ , φ et r sont les coordonnées sphériques (respectivement, la longitude, la latitude et la distance à l'origine) du point courant dans un système de référence lié au corps et défini par son centre de masse, son équateur et son méridien origine. $P_{nk}(u)$ est une fonction de Legendre de seconde espèce égale à :

$$P_{nk}(u) = \frac{1}{2^n n!} (1 - u^2)^{k/2} \frac{d^{n+k}(u^2 - 1)^n}{du^{n+k}}.$$

On distingue les harmoniques zonaux ($k = 0$) des harmoniques tesséraux ($k \neq 0$). On pose $J_n = -C_{n0}$. Pour les corps à symétrie de révolution, les coefficients des harmoniques tesséraux sont nuls.

Table 1.6. Constantes de définition, constantes primaires et constantes dérivées dans les systèmes UAI 1976, UAI 2000 et IERS 2003.

	UAI 1976, UAI 2000	IERS 2003
Constantes de définition		
Constante de Gauss, k	0.017 202 098 95 ⁽¹⁾	
Vitesse de la lumière, c		299 792 458 m s ⁻¹
1-d(TT)/d(TCG), L_G	6.969 290 134 × 10 ⁻¹⁰ ⁽²⁾	6.969 290 134 × 10 ⁻¹⁰
Constantes primaires		
Vitesse de la lumière, c	299 792 458 m s ⁻¹	
Temps de lumière pour l'unité de distance, τ_A	499.004 782 s	499.004 783 8061 s ± 0.000 000 02 s
Rayon équatorial de la Terre, R	6 378 140 m	6 378 136.6 ± 0.1 m
Facteur d'ellipticité géopotential de la Terre, J_2	0.001 082 63	0.001 082 6359 ± 1.0 × 10 ⁻¹⁰
Constante géocentrique de la gravitation, GM	3.986 005 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻²	3.986 004 418 × 10 ¹⁴ m ³ s ⁻² ± 8 × 10 ⁵ m ³ s ⁻²
Constante de la gravitation, G	6.672 × 10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²	6.673 × 10 ⁻¹¹ m ³ kg ⁻¹ s ⁻² ± 1 × 10 ⁻¹³ m ³ kg ⁻¹ s ⁻²
Rapport de la masse de la Lune à la masse de la Terre, μ	0.012 300 02	0.012 300 0383 ± 5 × 10 ⁻¹⁰
Constante de la précession par siècle julien pour J2000, p	5 029''.0966	
Obliquité de l'écliptique pour J2000, ε_0	23° 26' 21''.448	23° 26' 21''.4059 ± 0.0003''
Potentiel de gravité à la surface du géoïde, W		62 636 856.0 m ² s ⁻² ⁽³⁾ ± 0.5 m ² s ⁻²
Vitesse angulaire moyenne de rotation de la Terre, ω		7.292 115 × 10 ⁻⁵ rad s ⁻¹ (variable)
Constantes dérivées et relations		
Constante de la nutation pour J2000, N_0	9''.2025 ⁽⁴⁾	
Unité de distance (unité astronomique), $A = c\tau_A$	1.495 978 70 × 10 ¹¹ m	1.495 978 706 91 × 10 ¹¹ m ± 6 m
Parallaxe solaire, $\pi_0 = \arcsin(R/A)$	8''.794 148	
Constante de l'aberration pour J2000, κ	20''.495 52	

Table 1.6. (fin).

	UAI 1976, 2000, 2006	IERS 2003
Aplatissement de la Terre, f	0.003 352 81 = 1/298.257	1/298.256 42± 1/0.00001
Constante héliocentrique de la gravitation, $GS = A^3 k^2 d^{-2}$	$1.327\,124\,38 \times 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$	$1.327\,124\,420\,76 \times 10^{20} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$ $\pm 5 \times 10^{10} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$
Rapport de la masse du Soleil à la masse de la Terre $GS/GM = S/M$	332 946.0	
Rapport de la masse du Soleil à la somme des masses de la Terre et de la Lune, $(S/M)/(1 + \mu)$	328 900.5	
Masse du Soleil, $GS/G = S$	$1.9891 \times 10^{30} \text{ kg}$	
Valeur moyenne de $1-d(\text{TT})/d(\text{TCB}), L_B$	$1.550\,519\,768 \times 10^{-8} \text{ }^{(5)}$	$1.550\,519\,767\,72 \times 10^{-8}$ $\pm 2 \times 10^{-17}$
Valeur moyenne de $1-d(\text{TCG})/d(\text{TCB}), L_C$	$1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$ $\pm 2 \times 10^{-17}$	$1.480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$ $\pm 2 \times 10^{-17}$

⁽¹⁾ $k = 0.985\,607\,668\,601\,425$ degré/jour.

⁽²⁾ Système UAI 2000 seulement.

⁽³⁾ Bursa, 1992.

⁽⁴⁾ Système UAI 1976 seulement.

⁽⁵⁾ Système UAI 2006 seulement.

Table 1.7. Rapport de la masse du Soleil aux masses des planètes principales dans les systèmes UAI 1976, IERS1992 et DE405/LE405.

	UAI 1976	IERS 1992	DE405/LE405
Mercure	6 023 600	6 023 600	6 023 600
Vénus	408 523.5	408 523.71	408 523.71
Terre + Lune	328 900.5	328 900.56	328 900.561 400
Mars	3 098 710	3 098 708	3 098 708
Jupiter + satellites galiléens	1 047.355	1 047.3486	1 047.3486
Saturne + satellites	3 498.5	3 497.90	3 497.898
Uranus + satellites	22 869	22 902.94	22 902.98
Neptune + satellites	19 314	19 412.24 ⁽¹⁾	19 412.24 ⁽¹⁾
Pluton + Charon	130 000 000 ⁽²⁾	135 000 000	135 200 000

⁽¹⁾ Neptune + Triton

⁽²⁾ La valeur donnée pour Pluton (Harrington et Christy, 1980) est différente de celle du système UAI 1976 qui était 3 000 000. Elle a été révisée à la suite de la découverte de Charon, satellite de Pluton.

Table 1.8. Rapports des masses des principaux satellites de Jupiter, Saturne et Neptune à la masse de la planète centrale dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

		UAI 1976	Campbell et Synnot 1985 (a) Campbell et Anderson 1989 (b) Owen et al. 1991 (c)
Jupiter	Io	4.70×10^{-5}	4.705×10^{-5} (a)
	Europe	2.56×10^{-5}	2.527×10^{-5} (a)
	Ganymède	7.84×10^{-5}	7.804×10^{-5} (a)
	Callisto	5.6×10^{-5}	5.668×10^{-5} (a)
Saturne	Titan	2.41×10^{-4}	2.367×10^{-4} (b)
Neptune	Triton	2×10^{-3}	2.09×10^{-4} (c)

Table 1.9. Rayons équatoriaux des planètes, de la Lune et du Soleil, en kilomètres, dans les systèmes UAI 1976 et Seidelmann et al. 2002.

	UAI 1976	Seidelmann et al. 2002
Mercure	2 439	$2\,439.7 \pm 1.0$
Vénus	6 052	$6\,051.8 \pm 1.0$
Terre	6 378.140	$6\,378.14 \pm 0.01$
Mars	3 397.2	$3\,396.19 \pm 0.1$
Jupiter	71 398	$71\,492 \pm 4$ ⁽¹⁾
Saturne	60 000	$60\,268 \pm 4$ ⁽¹⁾
Uranus	25 400	$25\,559 \pm 4$ ⁽¹⁾
Neptune	24 300	$24\,764 \pm 15$ ⁽¹⁾
Pluton	2 500	$1\,195 \pm 5$
Lune	1 738	$1\,737.4 \pm 1$
Soleil	696 000	

⁽¹⁾ Le rayon à une surface de pression 10^5 Pa.

La table 1.10 donne les coefficients des développements en harmoniques sphériques des potentiels des planètes dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

Table 1.10. Champ de gravitation des planètes : coefficients des harmoniques dans le système UAI 1976 et d'après des déterminations plus récentes.

UAI 1976		Fukushima 1990 (a) ; IERS 1992 (b) ; Campbell et Synnot 1985 (c) ; Campbell et Anderson 1989 (d) ; Owen et al. 1991 (e) ;	
Vénus			
J_2		+ 0.000 006	(a)
Terre			
J_2	+ 0.001 082 63	+ 0.001 082 6362	(b)
J_3	- 0.000 002 54	- 0.000 002 533	(b)
J_4	- 0.000 001 61	- 0.000 001 619	(b)
Mars			
J_2	+ 0.001 964	+ 0.001 960	(a)
J_3	+ 0.000 036	+ 0.000 036	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
C_{22}	- 0.000 055	- 0.000 055	(a)
S_{22}	+ 0.000 031	+ 0.000 031	(a)
S_{31}	+ 0.000 026	+ 0.000 026	(a)
Jupiter			
J_2	+ 0.014 75	+ 0.014 736	(c)
J_3		+ 0.000 001	(c)
J_4	- 0.000 58	- 0.000 587	(c)
J_6		+ 0.000 031	(c)
Saturne			
J_2	+ 0.016 45	+ 0.016 298	(d)
J_4	- 0.001 0	- 0.000 915	(d)
J_6		+ 0.000 103	(d)
Uranus			
J_2	+ 0.012	+ 0.003 339	(a)
J_4		- 0.000 032	(a)
Neptune			
J_2	+ 0.004	+ 0.003 41	(e)
J_4		- 0.000 03	(e)

La table 1.11 donne ces mêmes coefficients pour la Lune, dans les systèmes UAI 1976, IERS 1992 et DE405/LE405 ; elle contient également les paramètres de gravitation de la Lune liés aux moments d'inertie, C (moment d'inertie polaire), A (moment d'inertie autour de l'axe dirigé vers la Terre) et B (moment d'inertie autour du troisième axe) ainsi que l'inclinaison moyenne I de l'équateur lunaire sur l'écliptique. M et R_e désignent respectivement la masse et le rayon équatorial de la Lune.

Table 1.11. Champ de gravitation de la Lune : coefficients des harmoniques dans les systèmes UAI 1976, IERS 1992 et DE405/LE405.

	UAI 1976	IERS 1992	DE405/LE405
C_{20}	- 0.000 2027	- 0.000 202 151	- 0.000 204 538 620
C_{22}	+ 0.000 0223	+ 0.000 022 302	+ 0.000 022 518 019
C_{30}	- 0.000 006	- 0.000 008 626	- 0.000 008 785 470
C_{31}	+ 0.000 029	+ 0.000 030 71	+ 0.000 030 803 810
S_{31}	+ 0.000 004	+ 0.000 005 6107	+ 0.000 004 259 329
C_{32}	+ 0.000 0048	+ 0.000 004 8348	+ 0.000 004 879 807
S_{32}	+ 0.000 0017	+ 0.000 001 684	+ 0.000 001 695 516
C_{33}	+ 0.000 0018	+ 0.000 001 436	+ 0.000 001 770 176
S_{33}	- 0.000 001	- 0.000 000 334 35	- 0.000 000 270 970
C_{40}		+ 0.000 000 15	+ 0.000 000 145 383
C_{41}		- 0.000 007 18	- 0.000 007 177 801
S_{41}		+ 0.000 002 95	+ 0.000 002 947 434
C_{42}		- 0.000 001 440	- 0.000 001 439 518
S_{42}		- 0.000 002 884	- 0.000 002 884 372
C_{43}		- 0.000 000 085	- 0.000 000 085 479
S_{43}		- 0.000 000 789	- 0.000 000 788 967
C_{44}		- 0.000 000 1549	- 0.000 000 154 904
S_{44}		+ 0.000 000 0564	+ 0.000 000 056 404
$\gamma = (B - A)/C$	0.000 2278	0.000 228 0043	0.000 227 8583
$\beta = (C - A)/B$	0.000 6313	0.000 631 6769	0.000 631 6121
C/MR_e^2	0.392	0.390 53	
I	5 552''.7 = 1° 32' 32''.7	5 553''.5 = 1° 32' 33''.5	

1.4. DONNÉES CONCERNANT LES CORPS DU SYSTÈME SOLAIRE

1.4.1. Éléments orbitaux des planètes, de Pluton et satellites découverts avant 1990

Nous donnons dans la table 1.12 les éléments orbitaux des planètes principales et de Pluton⁽¹⁾ pour les variables a (demi-grand axe de l'orbite), λ (longitude moyenne), k ($e \cos \varpi$, où e est l'excentricité de l'orbite et ϖ , la longitude du périhélie), h ($e \sin \varpi$), q ($\sin \frac{I}{2} \cos \Omega$, où I est l'inclinaison de l'orbite sur l'écliptique et Ω la longitude du nœud de l'orbite sur l'écliptique) et p ($\sin \frac{I}{2} \sin \Omega$). Ces éléments sont rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques inertiels (cf. 3.3.2) J2000. Ce sont les parties constantes des éléments moyens donnés par Simon et al. (1994) pour les planètes principales et par Simon (2004) pour Pluton ; on peut les considérer comme des valeurs moyennes sur l'intervalle de temps [J2000–6000, J2000+6000] pour les planètes principales et sur [J2000–1000, J2000+1000] pour Pluton.

Table 1.12. Éléments orbitaux des planètes et de Pluton rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe dynamiques J2000.

Planète	a (ua)	λ (degrés)	k	h	q	p
Mercure	0.387 098 31	252.250 905 52	0.044 660 60	0.200 723 31	0.040 615 63	0.045 635 50
Vénus	0.723 329 82	181.979 800 85	−0.004 492 82	0.005 066 85	0.006 824 10	0.028 822 86
Terre	1.000 001 02	100.466 456 83	−0.003 740 82	0.016 284 48	0	0
Mars	1.523 679 34	355.432 999 58	0.085 365 60	−0.037 899 73	0.010 470 43	0.012 284 49
Jupiter	5.202 603 21	34.351 518 74	0.046 985 75	0.012 003 88	−0.002 065 60	0.011 183 75
Saturne	9.554 909 19	50.077 444 30	−0.002 959 99	0.055 429 61	−0.008 717 47	0.019 891 48
Uranus	19.218 446 06	314.055 005 11	−0.045 951 32	0.005 637 91	0.001 859 15	0.006 486 17
Neptune	30.110 386 87	304.348 665 48	0.005 999 78	0.006 692 42	−0.010 291 48	0.011 516 84
Pluton	39.544 705 89	238.702 479 79	−0.178 724 68	−0.173 415 54	−0.051 702 90	0.139 779 69

Dans la table 1.13 figurent les périodes de révolution sidérale P des planètes principales et de Pluton ainsi que leurs périodes de rotation T . Ces dernières sont calculées d'après les expressions définissant la position du méridien origine sur chaque planète (Seidelmann et al., 2002).

Dans la table 1.14, on donne les paramètres moyens des orbites des satellites des planètes découverts avant 1990 : a (demi-grand axe de l'orbite), e (excentricité de l'orbite), P (période de révolution sidérale) ; I désigne l'inclinaison de l'orbite du corps soit par rapport à l'écliptique J2000 (E), soit par rapport à l'équateur de la planète (ϵ). Dans cette table figurent en outre,

⁽¹⁾ Pluton est une planète naine (résolution B6 de l'UAI, 2006).

les noms des découvreurs des satellites et des anneaux ainsi que la date de leur découverte : en particulier les découvertes par Voyager 1 des anneaux de Jupiter (Johnson et al., 1979) et de l'anneau D de Saturne (Smith et al., 1981), et celles par Pioneer 11 des anneaux F et G (Gehrels et al., 1980).

Table 1.13. Périodes de révolution sidérale P et de rotation T des planètes et de Pluton.

Planètes	P (jours)	T	
Mercure	87.969	58.646 225	(¹)
Vénus	224.701	243.018 484	(¹) (²)
Terre	365.256	23.934 471	(³)
Mars	686.980	24.622 962	(³)
Jupiter	4 332.59	9.924 912	(³) (⁴) (⁵)
Saturne	10 759.2	10.656 222	(³) (⁴)
Uranus	30 688.5	17.240 000	(²) (³) (⁴)
Neptune	60 182.3	16.110 000	(³) (⁴)
Pluton	90 469.7	153.293 904	(²) (³)

(¹) en jours ; (²) rotation rétrograde ; (³) en heures ; (⁴) rotation du champ magnétique (système III) ; (⁵) on a également $T = 9.841\,668$ heures, rotation de l'atmosphère à l'équateur (système I) et $T = 9.927\,953$ heures, rotation de l'atmosphère aux latitudes élevées (système II).

Les éléments moyens de la Lune sont issus de Simon et al. (1994).

Les éléments moyens des satellites de Mars sont déduits de la théorie de leur mouvement (Chapront-Touzé, 1988 et 1990).

Pour Jupiter, les éléments publiés pour les anneaux et pour les nouveaux satellites JXVI et JXV sont donnés par Nicholson et Matthews (1991) et ceux de JXIV par Synnott (1984). Les éléments des quatre satellites galiléens sont dus à Lieske (1980, 1987) et à Thuillot et Vu (1986), ceux de JXIII sont dus à Aksnes (1978). Les éléments de JV, JX, JXI et JXII sont extraits de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986), le demi-grand axe de JV étant toutefois calculé à partir de la valeur de la période. Les éléments de JVI, JVII, JVIII et JIX proviennent d'intégrations numériques effectuées par Rocher (1996) dont les résultats sont publiés dans le *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites faibles (Bureau des longitudes, 1997).

Pour Saturne, les éléments publiés sont tirés de Esposito et al. (1984) pour les anneaux sauf l'anneau F dont les éléments sont tirés de Synnott et al. (1983). Ils sont tirés de Showalter et al. (1986) et Showalter (1990) pour SXVIII, de Synnott et al. (1981) pour SX, SXI, SXII, SXV, SXVI et SXVII, du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter,

Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995) pour SXIII et SXIV, de Dourneau (1993) pour les huit principaux satellites. Ils proviennent d'une intégration numérique effectuée par Arlot et al. (2003) pour SIX (Phœbé).

Pour Uranus, les éléments des anneaux sont tirés de French et al. (1988), ceux des cinq principaux satellites de Laskar et Jacobson (1987) et ceux des dix petits satellites de Owen et Synnott (1987).

Pour Neptune, les éléments des anneaux sont tirés de Nicholson et al. (1990), ceux des deux principaux satellites de Jacobson et al. (1991) et ceux des six petits satellites de Owen et al. (1991).

Enfin, pour Pluton les éléments de Charon donnés avec, entre parenthèses, l'incertitude en unités de la dernière décimale, sont dus à Tholen et Buie (1997).

Table 1.14. Éléments orbitaux des satellites découverts avant 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Terre							
Lune		383.398	0.055 546	5.156 69	(E)	27.3217	
Mars							
Phobos		9.38	0.0151	1.1	(e)	0.3189	Hall 1877
Déimos		23.46	0.0002	0.9/2.7	(e)	1.2624	Hall 1877
Jupiter							
Anneaux		125.6/126.6					Voyager 1 1979
Métis	XVI	127.979	≤ 0.005	≤ 0.1	(e)	0.294 779	Voyager 1/2 1979–1980
Adrastéia	XV	128.980	≤ 0.005	≤ 0.3	(e)	0.298 260	Voyager 1 1979–1980
Amalthée	V	181.2	0.003	0.4	(e)	0.498 179	Barnard 1892
Thébé	XIV	221.895	0.015	0.8	(e)	0.6745	Voyager 1 1979–1980
Io	I	422	0.004	0.02/0.04	(e)	1.769 138	Galilée 1610
Europe	II	671	0.009	0.42/0.51	(e)	3.551 181	Galilée 1610
Ganymède	III	1 070	0.002	0.06/0.30	(e)	7.154 553	Galilée 1610
Callisto	IV	1 883	0.007	0.15/0.74	(e)	16.689 018	Galilée 1610
Léda ⁽⁹⁾	XIII	11 150	0.116/0.210	1.5/50.6	⁽³⁾	240.5	Kowal 1974
Himalia ⁽⁹⁾	VI	11 443	0.112/0.207	4.5/51.9	⁽³⁾	250.1	Perrine 1904–1905
Lysithéa ⁽⁹⁾	X	11 700	0.081/0.155	23.2/51.4	⁽³⁾	258.5	Nicholson 1938
Elara ⁽⁹⁾	VII	11 716	0.155/0.272	1.4/46.7	⁽³⁾	259.1	Perrine 1904–1905
Ananké ⁽⁹⁾	XII	21 048	0.083/0.452	122.2/172.9	⁽³⁾	624.1	Nicholson 1951
Carmé ⁽⁹⁾	XI	23 280	0.132/0.414	140.6/172.4	⁽³⁾	726.3	Nicholson 1938
Pasiphaé ⁽⁹⁾	VIII	23 658	0.184/0.668	119.1/174.2	⁽³⁾	744.2	Melotte 1908
Sinopé ⁽⁹⁾	IX	23 848	0.108/0.425	132.3/179.4	⁽³⁾	753.2	Nicholson 1914
Saturne							
Anneau D		67				0.2	Voyager 1 1981
Anneau C		74.5 /92.06 ⁽¹⁾	0	0	(e)	0.24/0.33	Bond 1851
Anneau B		92.06/117.50 ⁽¹⁾	0.0006			0.33/0.48	Galilée 1610
Anneau A		122.20/136.77 ⁽¹⁾				0.50/0.60	Galilée 1610
Anneau F		140.2	0.003			0.618	Pioneer 11 1980

Table 1.14. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte	
Saturne							
Anneau G		169				Pioneer 11	1980
Anneau E		180/480 (¹)				Feibelman	1967
Pan	XVIII	133.6			0.575	Showalter (²)	1990
Atlas (⁴)	XV	137.67	0.002	0.3	(<i>e</i>) 0.6019	Voyager 2	1980
Prométhée (⁴)	XVI	139.35	0.002	0.0	(<i>e</i>) 0.612 99	Voyager 2	1978
Pandore (⁴)	XVII	141.70	0.004	0.0	(<i>e</i>) 0.6285	Voyager 2	1980
Épiméthée (⁴)	XI	151.42	0.009	0.34	(<i>e</i>) 0.694 32	Fountain/Larson	1978
Janus (⁴)	X	151.47	0.007	0.14	(<i>e</i>) 0.694 66	Dollfus	1966
Mimas	I	185.54	0.019 05	1.56	(<i>e</i>) 0.942 422	Herschel	1789
Encelade	II	238.20	0.0049	0.03	(<i>e</i>) 1.370 218	Herschel	1789
Téthys	III	294.992	0.0	1.10	(<i>e</i>) 1.887 803	Cassini	1684
Télésto	XIII	294.66			1.8878	Voyager 2	1980
Calypso	XIV	294.66			1.8878	Voyager 2	1980
Dioné	IV	377.654	0.0022	0.01	(<i>e</i>) 2.736 916	Cassini	1684
Hélène (⁴)	XII	378.06	0.005	0.15	(<i>e</i>) 2.7391	Lecacheux/Laques	1980
Rhéa	V	527.367	0.0003	0.35	(<i>e</i>) 4.517 503	Cassini	1672
Titan	VI	1 221.803	0.0291	0.30	(<i>e</i>) 15.945 446	Huygens	1655
Hypérior	VII	1 481.1	0.1035	0.64	(<i>e</i>) 21.276 673	Bond/Lassel	1848
Japet	VIII	3 561.85	0.0283	18.5	(<i>e</i>) 79.330 954	Cassini	1671
Phœbé	IX	12 905.95	0.175 18	173.70	(⁵) 547.4	Pickering	1898
Uranus							
Anneaux		42/51	0.0001/0.0008	0.06/0.0002	(<i>e</i>)	Elliot et al.	1977
Cordélia	VI	49.752	0.000 47	0.14	(<i>e</i>) 0.335 03	Voyager 2	1986
Ophélie	VII	53.764	0.0101	0.09	(<i>e</i>) 0.376 40	Voyager 2	1986
Bianca	VIII	59.165	0.000 88	0.16	(<i>e</i>) 0.434 58	Voyager 2	1986
Cressida	IX	61.767	0.000 23	0.04	(<i>e</i>) 0.463 57	Voyager 2	1986
Desdémone	X	62.659	0.000 23	0.16	(<i>e</i>) 0.473 65	Voyager 2	1986
Juliette	XI	64.358	0.000 59	0.06	(<i>e</i>) 0.493 07	Voyager 2	1986
Portia	XII	66.097	0.000 17	0.09	(<i>e</i>) 0.513 20	Voyager 2	1986
Rosalinde	XIII	69.927	0.000 09	0.28	(<i>e</i>) 0.558 46	Voyager 2	1986
Belinda	XIV	75.255	0.000 11	0.03	(<i>e</i>) 0.623 52	Voyager 2	1986
Puck	XV	86.004	0.000 05	0.31	(<i>e</i>) 0.761 83	Voyager 2	1985
Miranda	V	129.872	0.0013 (⁷)	4.34	(<i>e</i>) 1.413 479	Kuiper	1948
Ariel	I	190.945	0.0012 (⁷)	0.04	(⁷) (<i>e</i>) 2.520 379	Lassell	1851
Umbriel	II	265.998	0.0040 (⁷)	0.13	(⁷) (<i>e</i>) 4.144 176	Lassell	1851
Titania	III	436.298	0.0014 (⁷)	0.08	(⁷) (<i>e</i>) 8.705 867	Herschel	1787
Obéron	IV	583.519	0.0016 (⁷)	0.07	(⁷) (<i>e</i>) 13.463 234	Herschel	1787
Neptune							
Anneaux		55.1/62.9				Hubbard et al.	1986
Naiade	III	48.227	0.000 33	4.74	(⁸) 0.294 40	Voyager 2	1989
Thalassa	IV	50.075	0.000 16	0.21	(⁸) 0.311 48	Voyager 2	1989
Despina	V	52.526	0.000 139	0.07	(⁸) 0.334 66	Voyager 2	1989
Galatée	VI	61.953	0.000 12	0.05	(⁸) 0.428 75	Voyager 2	1989

Table 1.14. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	P (jours)	Découverte		
Neptune								
Larissa	VII	73.548	0.001 39	0.20	⁽⁸⁾	0.554 65	Voyager 2	1989
Protée	VIII	117.647	0.000 44	0.04	⁽⁸⁾	1.122 32	Voyager 2	1981–1989
Triton	I	354.759	0.000 02	156.3	^(e)	5.876 85	Lassell	1846
Néréïde	II	5 513.41	0.751	6.68	^(e)	360.135	Kuiper	1949
Pluton								
Charon	I	19.636(8)	0.0076(5)	96.163(32)	⁽⁶⁾	6.387 223(17)	Christy/Harrington	1978

⁽¹⁾ La première valeur se rapporte au bord intérieur de l’anneau, la seconde au bord extérieur.

⁽²⁾ Analyse d’observations de 1981 de Voyager 2.

⁽³⁾ Équateur céleste J2000.

⁽⁴⁾ Éléments osculateurs pour l’époque 1 octobre 1980 à 0 h.

⁽⁵⁾ Écliptique J2000. Éléments osculateurs pour l’époque 14 janvier 1970 à 0 h.

⁽⁶⁾ Équateur céleste J2000. Éléments osculateurs pour l’époque 13 janvier 1993 à 13 h.

⁽⁷⁾ Valeur médiane sur l’intervalle de temps [1955, 2005].

⁽⁸⁾ Plan de Laplace du satellite.

⁽⁹⁾ Valeurs médianes (a, P) ou extremums (e, I) sur l’intervalle [1900, 2050].

1.4.2. Éléments osculateurs des satellites découverts après 1990

On donne dans la table 1.15, lorsqu’ils sont connus, les éléments osculateurs des satellites des planètes et planète naine découverts depuis 1990.

Ces variables sont : a (la demi-grand axe de l’orbite), e (l’excentricité), I (l’inclinaison de l’orbite du satellite par rapport à l’écliptique J2000), ω (l’argument de la latitude du périhélie), Ω (la longitude du nœud de l’orbite sur l’écliptique J2000) et P (la période de révolution sidérale).

La colonne “Année” donne l’année de la découverte du satellite, la colonne “Date” donne la date (à 0h TT) pour laquelle ont été calculés les éléments. Enfin la colonne “Référence” donne le numéro de la *circulaire UAI* (notée IAUC) ou de la *Minor Planet Electronic Circular* (notée M) dont sont extraits ces éléments.

Table 1.15. Éléments orbitaux osculateurs des satellites découverts depuis 1990.

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
Thémisto	XVIII	7 398	0.206	45.38	238.86	202.12	130.00	2000	1/04/01	M2000-Y16
Carpo	XLVI	17 056	0.295	55.15	83.28	45.26	455.07	2003	10/06/03	M2003-G67
Euporia	XXXIV	19 456	0.128	145.70	87.45	67.56	554.43	2001	22/11/02	M2003-C53
Jocaste	XXIV	20 424	0.389	150.37	80.01	271.32	596.29	2000	18/10/01	M2001-W07
Thyoné	XXIX	20 770	0.283	148.29	86.28	244.59	611.52	2001	22/11/02	M2002-V06
Mnémé	XL	20 823	0.223	148.51	62.18	19.66	613.88	2003	27/12/03	M2004-B42
Harpalycé	XXII	20 836	0.165	147.31	129.87	39.97	614.45	2000	18/10/01	M2001-U21
Hélicé	XLV	20 923	0.157	156.12	285.54	100.93	618.28	2003	10/06/03	M2003-E29
Euanthé	XXXIII	20 983	0.143	146.03	314.60	268.85	620.96	2001	22/11/02	M2003-A23
Hermippé	XXX	21 048	0.248	149.78	304.58	347.22	623.84	2001	22/11/02	M2002-V06
Orthosia	XXXV	21 263	0.240	141.95	223.56	222.85	633.44	2001	10/06/03	M2003-D36
Praxidicé	XXVII	21 342	0.096	146.76	209.67	285.15	636.96	2000	18/10/01	M2002-A27
Thelxinoé	XLII	21 317	0.238	150.96	318.61	192.31	635.82	2003	27/12/03	M2004-B82
Aetna	XXXI	22 274	0.311	164.34	129.90	21.51	679.15	2001	22/11/02	M2002-V18
Calé	XXXVII	22 301	0.325	164.79	37.55	65.33	680.35	2001	10/06/03	M2003-E14
Callichoré	XLIV	22 335	0.223	163.87	17.05	40.65	681.94	2003	10/06/03	M2003-E29
Taygète	XX	22 350	0.184	164.21	241.11	313.31	682.59	2000	18/10/01	M2001-T59
Chaldéné	XXI	22 452	0.266	166.59	282.54	148.71	687.29	2000	18/10/01	M2001-T59
Calycé	XXIII	22 623	0.377	165.14	216.58	38.72	695.16	2000	18/10/01	M2001-U21
Mégaclyté	XIX	23 464	0.601	151.81	302.27	304.61	734.26	2000	18/10/01	M2001-T59
Callirrhé	XVII	23 498	0.206	143.49	56.96	282.84	767.94	1999	1/04/01	M2001-Y16
Cylléné	XLVIII	23 545	0.412	141.01	208.38	258.94	738.07	2003	10/06/03	M2003-G09
Arché	XLIII	23 712	0.149	164.59	190.35	353.53	745.94	2002	14/07/04	M2004-D43
Pasithée	XXXVIII	23 780	0.280	165.57	266.26	339.05	749.17	2001	10/06/03	M2003-F59
Isonoe	XXVI	23 795	0.296	165.88	145.64	149.81	749.88	2000	18/10/01	M2002-A12
Eurydomé	XXXII	23 831	0.326	150.43	254.92	306.71	751.57	2001	22/11/02	M2003-A21
Aoidé	XLI	24 010	0.519	160.66	104.71	200.60	760.08	2003	27/12/03	M2004-B43
Erinomé	XXV	24 062	0.192	162.95	355.99	321.69	762.55	2000	18/10/01	M2001-W33
Spondé	XXXVI	24 356	0.483	155.09	81.02	128.13	776.52	2001	10/06/03	M2003-E05
Autonoé	XXVIII	24 413	0.459	152.06	57.62	273.23	779.27	2001	22/11/02	M2002-V03
Hégémoné	XXXIX	24 448	0.264	152.62	235.38	327.61	780.96	2003	10/06/03	M2003-E24
Eukéladé	XLVII	24 491	0.345	163.38	344.76	218.73	783.03	2003	10/06/03	M2003-E29
Coré	XLIX	24 974	0.222	140.89	124.42	339.81	806.29	2003	10/06/03	M2003-G10
S/2000 J 11		12 623	0.215	28.55	178.02	290.87	289.73	2000	1/04/01	M2001-A29
S/2003 J 2		28 494	0.380	151.83	167.11	4.73	982.61	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 3		18 291	0.241	143.73	98.23	240.36	505.36	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 4		23 196	0.204	144.86	193.98	190.71	721.71	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 5		24 020	0.210	165.01	122.05	198.68	760.51	2003	10/06/03	M2003-E11
S/2003 J 9		22 382	0.269	164.46	327.85	61.47	684.05	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 10		24 185	0.214	164.09	185.20	173.41	768.36	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 12		18 952	0.376	145.76	23.36	62.94	532.99	2003	10/06/03	M2003-E29
S/2003 J 15		22 012	0.113	140.85	41.58	243.05	667.17	2003	10/06/03	M2003-G17
S/2003 J 16		20 434	0.269	148.62	82.43	23.62	596.76	2003	10/06/03	M2003-G18

Table 1.15. (suite).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Jupiter										
S/2003 J 17		22 511	0.187	163.74	333.48	306.80	689.98	2003	10/06/03	M2003-G19
S/2003 J 18		20 683	0.119	146.47	100.28	180.79	607.68	2003	10/06/03	M2003-G20
S/2003 J 19		22 746	0.334	162.90	180.53	38.84	700.83	2003	10/06/03	M2003-G64
S/2003 J 23		23 991	0.309	149.22	268.73	54.07	759.15	2003	27/12/03	M2004-B81
Saturne										
Daphnis	XXXV	136.5					0.594	2005		IAUC 8524
Méthoné	XXXII	194					1.01	2004		IAUC 8389
Anthé	XLIX	197.7	0.001	0.1			1.0365	2007		IAUC 8857
Palléné	XXXIII	211					1.14	2004		IAUC 8389
Kiviuq	XXIV	11 319	0.166	48.39	91.26	351.82	449.60	2000	18/10/01	M2001-T07
Ijiraq	XXII	11 359	0.359	49.18	70.73	150.97	452.00	2000	18/10/01	M2001-T06
Paaliaq	XX	14 985	0.462	45.86	241.98	350.03	684.86	2000	18/10/01	M2001-T06
Skathi	XXVII	15 472	0.212	148.71	207.65	285.51	718.51	2000	18/10/01	M2001-T23
Albiorix	XXVI	16 496	0.452	37.40	59.55	109.01	791.01	2000	18/10/01	M2001-T07
Bebhionn	XXXVII	17 154	0.333	40.75	9.71	193.15	820.13	2004	30/01/05	M2005-J13
Skoll	XLVII	17 474	0.422	155.62	206.42	296.79	862.37	2006	06/03/06	M2006-M48
Erriapo	XXVIII	17 808	0.609	34.47	290.51	138.09	887.21	2000	18/10/01	M2001-T23
Tarqe	LII	17 910	0.108	49.90	65.59	91.95	894.91	2007	10/04/07	M2007-G38
Tarvos	XXI	17 977	0.613	34.90	285.66	93.79	899.91	2000	18/10/01	M2001-T06
Hyrrokkin	XLIV	18 168	0.360	153.3	268.52	47.34	914.29	2006	26/06/06	M2006-M44
Siarnaq	XXIX	18 201	0.380	48.50	65.94	63.72	916.80	2000	18/10/01	M2001-U42
Mundilfari	XXV	18 413	0.212	169.80	299.99	79.92	932.80	2000	18/10/01	M2001-T07
Greip	LI	18 654	0.317	172.85	138.77	343.63	951.20	2006	10/05/07	M2007-G29
Jarnsaxa	L	19 013	0.192	163.16	234.70	21.10	978.75	2006	28/02/07	M2007-D79
Bergelmir	XXXVIII	19 104	0.130	157.39	146.04	215.48	985.95	2004	14/02/06	M2006-C55
Suttungr	XXIII	19 186	0.145	174.65	73.01	252.94	992.16	2000	18/10/01	M2001-T06
Narvi	XXXI	19 244	0.313	136.39	175.00	184.35	996.71	2003	14/07/04	M2004-D41
Hati	XLIII	19 709	0.308	163.13	30.57	323.73	1 033.05	2004	14/02/06	M2006-C74
Thrymr	XXX	19 958	0.565	174.91	86.56	246.25	1 052.63	2000	18/10/01	M2001-X20
Farbauti	XL	19 985	0.175	158.36	351.16	146.07	1 054.78	2004	13/02/06	M2006-C72
Aegir	XXXVI	20 466	0.225	167.41	264.24	196.13	1 093.12	2004	10/02/06	M2006-C55
Bestla	XXXIX	20 519	0.745	147.38	82.19	290.32	1 097.35	2004	10/02/06	M2006-C55
Fenrir	XLI	21 931	0.105	162.83	124.32	239.48	1 212.53	2004	13/02/06	M2006-C72
Surtur	XLVIII	22 289	0.369	166.92	329.29	257.60	1 242.36	2006	06/07/06	M2006-N06
Kari	XLV	22 321	0.340	148.38	181.70	290.65	1 245.06	2006	06/03/06	M2006-M48
Loge	XLVI	22 984	0.142	166.54	46.81	344.12	1 300.95	2006	06/03/06	M2006-M48
Ymir	XIX	23 306	0.375	172.75	42.43	207.07	1 328.35	2000	18/10/01	M2001-T06
Fornjot	XLII	24 484	0.166	167.88	331.86	271.23	1 430.37	2004	14/02/06	M2006-C74
Polydeuces	XXXIV							2004		IAUC 8432
S/2004 S 3		140.58					0.621	2004		IAUC 8432
S/2004 S 4								2004		IAUC 8401
S/2004 S 7		20 577	0.554	165.60	100.47	346.26	1 101.99	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 12		19 906	0.396	164.04	96.53	313.62	1 048.54	2004	30/01/05	M2005-J13

Table 1.15. (fin).

Nom	N°	a (10^3 km)	e	I (degrés)	ω (degrés)	Ω (degrés)	P (jours)	Année	Date (0h TT)	Référence
Saturne										
S/2004 S 13		18 056	0.261	167.38	6.32	221.46	905.85	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2004 S 17		19 099	0.226	166.88	175.79	19.99	985.45	2004	30/01/05	M2005-J13
S/2006 S 1		18 930	0.130	154.23	138.79	340.70	972.41	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2006 S 3		21 076	0.471	150.82	190.86	220.51	1142.37	2006	26/06/06	M2006-M45
S/2007 S 2		16 523	0.218	176.68	62.04	113.11	792.96	2007	10/04/07	M2007-J09
S/2007 S 3		19 179	0.151	177.01	284.03	96.94	991.66	2007	10/04/07	M2007-J09
Uranus										
Cupidon	XXVII	74.8					0.618	2003		IAUC 8209
Perdita	XXV	76.4					0.638	1999		IAUC 7171
Mab	XXVI	97.7					0.923	2003		IAUC 8209
Francisco	XXII	4 270	0.143	147.61	123.19	103.06	266.57	2001	27/12/03	M2003-T29
Caliban	XVI	7 169	0.082	139.68	339.46	174.99	579.44	1997	6/07/98	IAUC 6870
Stéphano	XX	7 942	0.146	141.54	29.84	189.50	675.71	1999	13/09/00	IAUC 7473
Trinculo	XXI	8 571	0.208	166.33	160.60	199.06	758.06	2001	22/11/02	M2002-S64
Sycorax	XVII	12 214	0.509	152.67	18.01	255.81	1 288.55	1997	6/07/98	IAUC 6869
Marguerite	XXIII	14 649	0.783	50.65	77.97	18.01	1 693.88	2003	27/12/03	M2003-T58
Prospéro	XVIII	16 113	0.327	146.34	173.57	320.15	1 952.61	1999	13/09/00	IAUC 7447
Sétébos	XIX	18 205	0.494	148.83	2.19	249.85	2 344.89	1999	13/09/00	IAUC 7450
Ferdinand	XXIV	20 598	0.426	167.28	164.88	225.13	2 824.28	2001	27/12/03	M2003-S105
Neptune										
Halimède	IX	16 560	0.260	111.77	156.94	217.40	1 874.35	2002	10/06/03	M2003-R18
Sao	XI	22 277	0.137	52.74	63.92	61.84	2 924.44	2002	27/12/03	M2003-S67
Laomédie	XII	22 553	0.416	39.56	138.05	53.57	2 978.81	2002	27/12/03	M2003-S106
Néso	XIII	47 153	0.605	139.31	89.77	52.17	9 005.57	2002	27/12/03	M2003-S107
Psamathee	X	49 281	0.268	124.23	126.76	319.63	9 622.07	2003	10/06/03	M2003-R19
Pluton										
Nix	II	49.4					25.3	2005		IAUC 8625
Hydre	III	64.7					38.2	2005		IAUC 8625

1.4.3. Paramètres physiques

On donne dans la table 1.16, les masses au repos m du Soleil, des planètes et des systèmes formés par les planètes et leurs principaux satellites, ainsi que les quantités Gm , produits de la constante héliocentrique de la gravitation GS , par le rapport des masses des planètes ou des systèmes planète-satellites à la masse du Soleil m/S . Le système de Jupiter est composé de Jupiter et des quatre satellites galiléens ; celui de Saturne, de Saturne et de ses huit principaux satellites ; celui d'Uranus, d'Uranus et de ces cinq premiers satellites. Les masses des planètes sont évaluées en enlevant à la masse du système planète-satellites, la somme des masses connues des satellites du système (Table 1.18). Les masses sont données dans deux systèmes d'unités : le système astronomique (unité =

Table 1.16. Masses des corps célestes et constantes gravitationnelles correspondantes.

Planètes, Systèmes planétaires et petites planètes	m		Gm ($\text{m}^3 \text{s}^{-2}$)	ρ (10^3 kg/m^3)	T (K)	Albédo	
	(masse solaire)	(10^{24} kg)				B	G
Soleil	1	1988 900	$1.327\ 124\ 42 \times 10^{20}$	1.4			
Mercure	$1.660\ 1368 \times 10^{-7}$	0.330 18	$2.203\ 208 \times 10^{13}$	5.4	620	0.056	0.11
Vénus	$2.447\ 8383 \times 10^{-6}$	4.8685	$3.248\ 5860 \times 10^{14}$	5.2	750	0.72	0.65
Syst. Terre-Lune	$3.040\ 4326 \times 10^{-6}$	6.0471	$4.035\ 0324 \times 10^{14}$				
Terre	$3.003\ 4896 \times 10^{-6}$	5.9736	$3.986\ 0044 \times 10^{14}$	5.5	295	0.39	0.367
Mars	$3.227\ 1514 \times 10^{-7}$	0.641 85	$4.282\ 8315 \times 10^{13}$	3.9	250	0.16	0.15
Syst. de Jupiter	$9.547\ 9194 \times 10^{-4}$	1899.0	$1.267\ 1277 \times 10^{17}$				
Jupiter	$9.545\ 9429 \times 10^{-4}$	1898.6	$1.266\ 8654 \times 10^{17}$	1.3	170	0.70	0.52
Syst. de Saturne	$2.858\ 8598 \times 10^{-4}$	568.60	$3.794\ 0627 \times 10^{16}$				
Saturne	$2.858\ 154 \times 10^{-4}$	568.46	$3.793\ 126 \times 10^{16}$	0.7	135	0.75	0.47
Syst. d'Uranus	$4.366\ 244 \times 10^{-5}$	86.840	$5.794\ 549 \times 10^{15}$				
Uranus	$4.365\ 785 \times 10^{-5}$	86.831	$5.793\ 940 \times 10^{15}$	1.3	80	0.90	0.51
Syst. Neptune-Triton	$5.151\ 389 \times 10^{-5}$	102.46	$6.836\ 534 \times 10^{15}$				
Neptune	$5.150\ 313 \times 10^{-5}$	102.43	$6.835\ 106 \times 10^{15}$	1.6	50	0.82	0.41
Syst. Pluton-Charon	7.3964×10^{-9}	0.014 71	9.816×10^{11}			0.145	0.3
Pluton	6.663×10^{-9}	0.013 25	8.843×10^{11}	1.9			

masse solaire) et le système SI (unité = kg). Ces quantités sont calculées à partir des données des paragraphes 1.3.2 et 1.3.3 et de la table 1.18.

On donne également, pour le Soleil et les planètes principales, une estimation de la masse volumique ρ et, pour les planètes principales, la température superficielle moyenne T , l'albédo de Bond B, et l'albédo géométrique G issues de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986). La masse volumique est obtenue à partir de la masse et du rayon équatorial donné dans la table 1.10 (données issues de Seidelmann et al., 2002), en supposant le corps sphérique. L'albédo de Bond est le rapport du flux total réfléchi par le corps au flux total incident. L'albédo géométrique est le rapport de l'éclat du corps, pour un angle de phase nul, à l'éclat d'un disque parfaitement diffusant ayant la même position et le même diamètre apparent que le corps.

Nous donnons dans la table 1.17, les valeurs des paramètres de diverses figures géométriques à symétrie équatoriale (sphéroïde, ellipsoïde triaxial, sphère) représentant au mieux la forme des planètes principales et de la Lune. Pour le sphéroïde, on donne le rayon polaire R_p (Seidelmann et al., 2002) le rayon équatorial R_e étant donné dans la table 1.10. Pour Mars, on donne le rayon polaire moyen R_p^M , le rayon polaire nord R_p^N et le rayon polaire sud R_p^S . Pour l'ellipsoïde, on donne le demi-grand axe équatorial a_1 , le facteur d'aplatissement polaire f_p , le facteur d'aplatissement équatorial f_e , et la longitude du grand axe équatorial L_e (comptée positivement vers l'est), rapportée au méridien origine du corps (Fukushima, 1990). Pour la sphère on donne le rayon

Table 1.17. Figures géométriques représentant le Soleil, les planètes et la Lune.

Nom	R_p (km)	a_1 (km)	f_p (10^{-3})	f_e (10^{-3})	L_e (degrés)	a_s (km)	a_r (m)	f_g ($\times 10^{-10}$)
Soleil								21 210
Mercure	2 439.7					2 439.7		
Vénus	6 051.8	6 051.476	1/113.8	1/253.2	- 6.2	6 051.8	0.003 614 54	5.973 06
Lune	1 737.4	1 735.554	1/2.67	1/7.49	0.03	1 737.4	$5.455\ 098 \times 10^{-5}$	0.313 958
Terre	6 356.75	6 378.171		1/920	-14.9	6 371.00	0.004 435 03	6.969 290
Mars	R_p^M 3 376.20 R_p^N 3 373.19 R_p^S 3 379.21	3 396.510	1/0.184	1/2.63	75.0	3 390	0.000 476 529	1.407 87
Jupiter (¹)	66 854					69 911	1.409 577	197.166
Saturne (¹)	54 364					58 232	0.422 04	70.027
Uranus (¹)	24 973					25 362	0.064 4663	25.223
Neptune (¹)	24 341					24 622	0.076 05	30.71
Pluton	1 195					1 195		

(¹) Le rayon à une surface de pression 10^5 Pa.

moyen a_s (Seidelmann et al., 2002). Figurent également dans la table 1.17, pour les planètes et la Lune, le *rayon relativiste* $a_r = (GM/c^2)$ et pour le Soleil, la Lune et les planètes, sauf Mercure, le *facteur gravitationnel* f_g . Pour la Lune et les planètes telluriques (objets non gazeux), f_g est donné par $f_g = (W/c^2)$ où W est le potentiel de gravité à la surface du corps (W est une quantité mesurée). Pour les autres corps, on prend $f_g = Gm/R_e c^2$ où m est la masse du corps considéré et R_e son rayon équatorial. G est la constante de la gravitation universelle et c la vitesse de la lumière (Fukushima, 1990).

Les masses des satellites et les anneaux des planètes sont données dans les tables 1.18 et 1.19. La table 1.18 donne la masse au repos m en masse solaire, le rapport de m à la masse de la planète centrale et le produit Gm dans le système d'unités astronomiques. La table 1.19 donne m dans le SI. Ces masses sont déduites des valeurs données par :

- DE405 pour la Lune ;
- Tyler et al. (2003) pour Phobos ;
- Yuan et al. (2001) pour Déimos ;
- Campbell et Synnott (1985) pour les satellites galiléens ;
- Fukushima 1990 pour les autres satellites de Jupiter, les anneaux de Saturne, Hypérion, Phœbé et Néréide ;
- Campbell et Anderson (1989) pour Titan ;
- Tyler et al. (1982) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa et Japet ;

- Thomas et al. (1989) pour les petits satellites d'Uranus Cordélia et Ophélie ;
- Jacobson et al. (1992) pour les anciens satellites d'Uranus (Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Obéron) ;
- Banfield et Murray (1992) pour les six petits satellites de Neptune ;
- Owen et al. (1991) pour Triton ;
- Tholen et Buie (1997) pour Charon.

La table 1.19 donne également, pour les satellites, le rayon a_s de la sphère et, éventuellement, les demi-axes équatoriaux (a_1 , a_2) et polaire (a_3) de l'ellipsoïde triaxial représentant au mieux la surface du satellite. Pour tous les satellites ces valeurs sont données par Seidelmann et al. (2002). Comme pour les planètes, l'estimation de la masse volumique a été obtenue à partir de la masse et du rayon moyen par Bec-Borsenberger (2004).

On donne enfin, dans les deux dernières colonnes de la table 1.19, la magnitude visuelle m_v et l'albédo géométrique. La plus grande partie de ces quantités est tirée de l'*Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986) ou du *Supplément à la Connaissance des Temps* pour les satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus (Bureau des longitudes, 1995). Les autres sources utilisées sont :

- Pascu et al. (1992) pour Thébé ;
- *Encyclopédie scientifique de l'univers* (Bureau des longitudes, 1986) pour la plupart des satellites de Saturne, Uranus et Neptune ;
- Showalter (1990) pour l'albédo et le rayon de Pan ;
- Buratti et Veverka (1984) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné et Rhéa ;
- Tholen et Zellner (1983) pour les albédos de Hypérion et du côté sombre de Japet ;
- Stone et Miner (1982) pour les albédos des nouveaux satellites de Saturne ;
- Thomas et al. (1989) pour la magnitude et l'albédo de Titania.

Table 1.18. Masses des principaux satellites.

Nom	N°	m		Gm ($m^3 s^{-2}$)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Terre				
Lune		$3.694\ 3037 \times 10^{-8}$	$1.230\ 0038 \times 10^{-2}$	$4.902\ 8006 \times 10^{12}$
Mars				
Phobos		5.12×10^{-15}	1.58×10^{-8}	8.47×10^5
Déimos		1.13×10^{-15}	3.5×10^{-9}	1.20×10^5
Jupiter				
Métis	XVI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Adrastéia	XV	9.5×10^{-15}	1×10^{-11}	1.3×10^6
Amalthée	V	3.6×10^{-12}	3.8×10^{-9}	4.8×10^8
Thébé	XIV	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Io	I	4.49×10^{-8}	4.705×10^{-5}	5.96×10^{12}
Europe	II	2.41×10^{-8}	2.527×10^{-5}	3.20×10^{12}
Ganymède	III	7.45×10^{-8}	7.804×10^{-5}	9.89×10^{12}
Callisto	IV	5.41×10^{-8}	5.668×10^{-5}	7.18×10^{12}
Léda	XIII	2.9×10^{-15}	3×10^{-12}	3.8×10^5
Himalia	VI	4.8×10^{-12}	5.0×10^{-9}	6.3×10^8
Lysithéa	X	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Elara	VII	3.8×10^{-13}	4×10^{-10}	5.1×10^7
Ananké	XII	1.9×10^{-14}	2×10^{-11}	2.5×10^6
Carmé	XI	4.8×10^{-14}	5×10^{-11}	6.3×10^6
Pasiphaé	VIII	9.5×10^{-14}	1×10^{-10}	1.3×10^7
Sinopé	IX	3.8×10^{-14}	4×10^{-11}	5.1×10^6
Saturne				
Anneaux C		4.9×10^{-13}	1.7×10^{-9}	6.4×10^7
Anneaux B		1.2×10^{-11}	4.2×10^{-8}	1.6×10^9
Anneaux A		3.1×10^{-12}	1.1×10^{-8}	4.2×10^8
Mimas	I	2.29×10^{-11}	8.00×10^{-8}	3.04×10^9
Encelade	II	3.7×10^{-11}	1.3×10^{-7}	4.9×10^9
Téthys	III	3.4×10^{-10}	1.2×10^{-6}	4.5×10^{10}
Dioné	IV	5.29×10^{-10}	1.85×10^{-6}	7.0×10^{10}
Rhéa	V	1.16×10^{-9}	4.06×10^{-6}	1.54×10^{11}
Titan	VI	6.7652×10^{-8}	2.3670×10^{-4}	8.9782×10^{12}
Hypérion	VII	8.6×10^{-12}	3×10^{-8}	1.1×10^9

Table 1.18. (suite).

Nom	N°	<i>m</i>		<i>Gm</i> (m ³ s ⁻²)
		(masse solaire)	(masse planète)	
Saturne				
Japet	VIII	7.99×10^{-10}	2.79×10^{-6}	1.06×10^{11}
Phœbé	IX	2×10^{-13}	7×10^{-10}	2.7×10^7
Uranus				
Cordélia	VI	7.0×10^{-15}	1.6×10^{-10}	9.3×10^5
Ophélie	VII	1.3×10^{-14}	2.9×10^{-10}	1.7×10^6
Miranda	V	0.33×10^{-10}	0.76×10^{-6}	4.4×10^9
Ariel	I	6.80×10^{-10}	1.56×10^{-5}	90.3×10^9
Umbriel	II	5.89×10^{-10}	1.35×10^{-5}	78.2×10^9
Titania	III	17.73×10^{-10}	4.061×10^{-5}	235.3×10^9
Obéron	IV	15.15×10^{-10}	3.471×10^{-5}	201.1×10^9
Naïade	III	5.0×10^{-14}	9.7×10^{-10}	6.6×10^6
Thalassa	IV	1.6×10^{-13}	3.1×10^{-9}	2.1×10^7
Despina	V	1.1×10^{-12}	2.1×10^{-8}	1.4×10^8
Galatée	VI	1.9×10^{-12}	3.6×10^{-8}	2.5×10^8
Larissa	VII	2.2×10^{-12}	4.2×10^{-8}	2.9×10^8
Protée	VIII	2.0×10^{-11}	3.9×10^{-7}	2.7×10^9
Triton	I	1.08×10^{-8}	2.09×10^{-4}	1.428×10^{12}
Néréïde	II	1×10^{-11}	2×10^{-7}	1.4×10^9
Pluton				
Charon	I	0.733×10^{-9}	0.110	9.73×10^{10}

Table 1.19. Demi-diamètres a_s, a_1, a_2, a_3 ; masse ; masse volumique, ρ ; magnitude visuelle à l'opposition, m_v ; albédo géométrique.

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Terre							
Lune		1737.4±1	1737.4 - 1737.4 - 1737.4	73.476	3.34	-12.7	0.12
Mars							
Phobos	I	11.1±0.15	13.4 - 11.2 - 9.2	1.02×10^{-5}	2.22	11.6	0.06
Déimos	II	6.2±0.18	7.5 - 6.1 - 5.2	2.25×10^{-6}	1.8	12.7	0.06
Jupiter							
Métis	XVI	21.5±4	30 - - 20	9.5×10^{-5}	2.3	17.5	0.05
Adrastéia	XV	8.2±4	10 - 8 - 7	1.9×10^{-5}	8.2	18.9	0.05
Amalthée	V	83.5±3	125 - 73 - 64	7.2×10^{-3}	3.0	14.1	0.05
Thébé	XIV	49.3±4	58 - 49 - 42	7.6×10^{-4}	1.5	15.7	0.04
Io	I	1821.46	1829.4 - 1819.3 - 1815.7	89.3	3.53	5.02	0.61
Europe	II	1562.09	1564.13 - 1561.23 - 1560.93	48.0	3.00	5.29	0.64
Ganymède	III	2632.345	2632.4 - 2632.29 - 2632.35	148.2	1.94	4.61	0.42
Callisto	IV	2409.3	2409.4 - 2409.2 - 2409.3	107.6	1.84	5.65	0.20
Léda	XIII	5		5.7×10^{-6}	11	20	
Himalia	VI	85±10		9.5×10^{-3}	3.7	14.8	0.03
Lysithéa	X	12		7.6×10^{-5}	10.5	18.4	
Elara	VII	40±10		7.6×10^{-4}	2.8	16.8	0.03
Ananké	XII	10		3.8×10^{-5}	9.1	18.9	
Carmé	XI	15		9.5×10^{-5}	6.7	18.0	
Pasiphaé	VIII	18		1.9×10^{-4}	7.8	17.0	
Sinopé	IX	14		7.6×10^{-5}	6.6	18.3	
Saturne							
Anneau C				9.7×10^{-4}			
Anneau B				2.4×10^{-2}			
Anneau A				6.3×10^{-3}			
Pan	XVIII	10±3					0.4-0.7
Atlas	XV	16±4	18.5 - 17.2 - 13.5			18	0.4
Prométhée	XVI	50.1±3	74.0 - 50.0 - 34.0			15	0.6
Pandore	XVII	41.9±2	55.0 - 44.0 - 31.0			15.5	0.6
Épiméthée	XI	59.5±3	69.0 - 55.0 - 55.0			15	0.4
Janus	X	88.8±4	97.0 - 95.0 - 77.0			14	0.4
Mimas	I	198.6±0.6	209.1 - 196.2 - 191.4	0.0455	1.4	12.9	0.77
Encelade	II	249.4±0.3	256.3 - 247.3 - 244.6	0.074	1.1	11.7	1.04
Téthys	III	529.8±1.5	535.6 - 528.2 - 525.8	0.674	1.1	10.3	0.8
Télesto	XIII	11±4	15 - 12.5 - 7.5			18	0.6
Calypso	XIV	9.5±4	15.0 - 8.0 - 8.0			18.5	0.8
Dioné	IV	560±5	560 - 560 - 560	1.052	1.4	10.4	0.55
Hélène	XII	16	17.5 - - -			17	0.5

Table 1.19. (suite).

Nom	N°	a_s (km)	a_1 a_2 a_3 (km)	Masse (10^{21} kg)	ρ (10^3 kg/m ³)	m_v	Albédo géométrique
Saturne							
Rhéea	V	764±4	764 - 764 - 764	2.31	1.2	9.7	0.65
Titan	VI	2575±2	2575 - 2575 - 2575	134.55	1.9	8.3	0.21
Hypériorion	VII	133±8	164 - 130 - 107	0.017	1.7	14.19	0.19/0.25
Japet	VIII	718±8	718 - 718 - 718	1.59	1.3	10.2/11.9	0.5 ⁽¹⁾
Phœbé	IX	110±10	115 - 110 - 105	0.0004	0.07	16.5	0.06
Uranus							
Cordélia	VI	13±2		1.4×10^{-5}	1.5	24.2 ⁽²⁾	
Ophélie	VII	15±2		2.5×10^{-5}	1.5	23.9 ⁽²⁾	
Bianca	VIII	21±3				23.1 ⁽²⁾	
Cressida	IX	31±4				22.3 ⁽²⁾	
Desdémone	X	27±3				22.5 ⁽²⁾	
Juliette	XI	42±5				21.7 ⁽²⁾	
Portia	XII	54±6				21.1 ⁽²⁾	
Rosalinde	XIII	27±4				22.5	
Belinda	XIV	33±4				22.1	
Puck	XV	77±5				20.4	0.07
Miranda	V	235.8±0.7	240.4 - 234.2 - 232.9	0.066	1.2	16.5	0.34
Ariel	I	578.9±0.6	581.1 - 577.9 - 577.7	1.35	1.7	14.4	0.40
Umbriel	II	584.7±2.8	584.7 - 584.7 - 584.7	1.17	1.4	15.3	0.19
Titania	III	788.9±1.8	788.9 - 788.9 - 788.9	3.526	1.7	13.9	0.28
Obéron	IV	761.4±2.6	761.4 - 761.4 - 761.4	3.014	1.6	14.2	0.24
Neptune							
Naiade	III	29±6		0.99×10^{-4}	1.0	24.7	
Thalassa	IV	40±8		3.2×10^{-4}	1.2	23.8	
Despina	V	74±10		2.1×10^{-3}	1.2	22.6	0.06
Galatée	VI	79±12		3.7×10^{-3}	1.8	22.3	0.06
Larissa	VII	96±7	104 - - 89	4.3×10^{-3}	1.2	22.0	0.06
Protée	VIII	208±8	218 - 208 - 201	4.0×10^{-2}	1.1	20.3	0.06
Triton	I	1352.6±2.4		21.4	2.1	13.7	0.7
Néréide	II	170±25		0.02	1.0	18.7	0.4
Pluton							
Charon	I	593±13		1.46	1.7	16.8	0.4

⁽¹⁾ Côté brillant 0.5; côté non brillant 0.07.

⁽²⁾ Calculée en supposant que le satellite a le même albédo que Puck.

1.5. AUTRES CONSTANTES ET UNITÉS

1.5.1. Système de référence galactique

Les axes de coordonnées du système de référence galactique, par rapport à un système de référence, sont déterminés par les coordonnées dans ce système du pôle galactique et du centre galactique définis à la suite de l'Assemblée générale de l'UAI de 1958 (Blaauw et al., 1960).

Dans le système de référence FK5 (J2000), les coordonnées équatoriales héliocentriques du pôle galactique Z sont (Murray, 1989) :

$$\begin{aligned}\alpha_Z &= 12 \text{ h } 51 \text{ min } 26.2755 \text{ s}, \\ \delta_Z &= 27^\circ 7' 41''.704.\end{aligned}$$

Les coordonnées équatoriales héliocentriques du centre galactique sont :

$$\begin{aligned}\alpha_X &= 17 \text{ h } 45 \text{ min } 37.1991 \text{ s}, \\ \delta_X &= -28^\circ 56' 10''.221;\end{aligned}$$

et la longitude galactique du pôle céleste nord est :

$$\theta = 122^\circ 55' 54''.907.$$

1.5.2. Situation du Soleil dans la galaxie

Après avoir passé en revue diverses déterminations des constantes galactiques, Kerr et Lynden-Bell (1986), ont publié l'ensemble de valeurs suivant, relatif aux quatre principales constantes galactiques, distance du Soleil au centre galactique (R_0), vitesse circulaire du Soleil autour du centre galactique (θ_0) et constantes de Oort (A, B) :

$$\begin{aligned}R_0 &= 8.5 \pm 1.1 \text{ kpc}, \\ \theta_0 &= 222 \pm 20 \text{ km s}^{-1}, \\ A &= 14.4 \pm 1.2 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ B &= -12.0 \pm 2.8 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}, \\ A - B &= 26.4 \pm 1.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}.\end{aligned}$$

Compte tenu des incertitudes sur la détermination des valeurs de ces paramètres, l'assemblée générale de l'UAI (1985) a recommandé l'utilisation des valeurs suivantes pour les constantes (R_0) et (θ_0),

$$\begin{aligned}R_0 &= 8.5 \text{ kpc}, \\ \theta_0 &= 220 \text{ km s}^{-1}.\end{aligned}$$

Par contre, il n'y a pas de valeurs recommandées pour les constantes de Oort, A et B , mais seulement une remarque concernant la différence $A - B$ qui, avec les valeurs de R_0 et θ_0 adoptées vaut :

$$A - B = 25.9 \text{ km s}^{-1} \text{ kpc}^{-1}.$$

1.5.3. Système de référence extragalactique

Les sources extragalactiques observées par interférométrie à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry) permettent de constituer un système de référence extragalactique. On définit l'origine des ascensions droites en fixant l'ascension droite (J2000) du quasar 3C 273 B (1 226+023) à la valeur de Hazard et al. (1971) (*cf.* 3.4.3) :

$$\begin{aligned}\alpha &= 12 \text{ h } 29 \text{ min } 6.6997 \text{ s,} \\ \delta &= 2^{\circ} 3' 8'' .5988.\end{aligned}$$

1.5.4. Valeurs estimées de quantités dynamiques

Les paramètres post-newtoniens (PPN) sont issus de Will (2006) :

$$\begin{aligned}\alpha &= 0.0000 \pm 0.0002, \\ \gamma &= 1.00000 \pm 0.000023, \\ \frac{2 + 2\gamma - \beta}{3} &= 1.000 \pm 0.001.\end{aligned}$$

Bien que le paramètre α n'apparaisse pas formellement dans les paramètres PPN, il apparaît comme un facteur clé en astrométrie pour exprimer la dilatation du temps et le *décalage vers le rouge* ($3/2 + \alpha$). Les paramètres β et γ caractérisent la plupart des effets relativistes en astrométrie ; $1 + \gamma$ caractérise le *retard* et la déflexion de la lumière, $2 + 2\gamma - \beta$ caractérise le *décalage du péricentre*.

Pour la relativité générale d'Einstein, on a :

$$\begin{cases} \alpha = 0 \\ \beta = \gamma = 1 \end{cases}$$

1.5.5. Autres unités

On donne dans ce dernier paragraphe les définitions de quelques unités ne faisant pas partie du Système International mais rencontrées dans la littérature et encore tolérées (Cohen et Taylor, 1986 ; Bureau des longitudes, 1981, 1986).

L'électronvolt

L'électronvolt (eV) est une unité en usage avec le Système International (en physique atomique) ; sa valeur en unité SI est obtenue expérimentalement. Un électronvolt est l'énergie cinétique acquise par un électron en subissant une différence de potentiel de 1 V dans le vide :

$$1 \text{ eV} = 1.602\,177\,33 \times 10^{-19} \text{ J approximativement.}$$

L'angström

L'angström (Å) est encore utilisé en spectroscopie et en microscopie. On a :

$$1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \mu\text{m} = 0.1 \text{ nm}.$$

Le gauss

Le gauss (Gs ou G) est le nom donné à l'unité CGS électromagnétique. On a :

$$1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}.$$

Le gamma

Le gamma (γ), est une unité utilisée pour exprimer l'intensité du champ magnétique. On a :

$$1 \gamma = 10^{-9} \text{ T} = 1 \text{ nT}.$$

L'atmosphère

L'atmosphère, unité employée pour la pression, vaut 101 325 Pa. L'usage de cette unité est fortement déconseillé ; elle n'est donnée ici qu'à titre d'information.

L'inch

L'inch (pouce) unité anglo-saxonne de longueur, est utilisé pour donner les diamètres des objectifs de certains instruments astronomiques. On a :

$$1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm}.$$

Le pouce utilisé en France, ou *zoll* en Allemagne, n'avait pas tout à fait la même valeur : 2.707 cm.

Le jansky

On peut mesurer l'intensité des radio-sources par la densité de flux $S(\nu)$ qui est l'énergie reçue de l'ensemble d'une source de dimension finie, par unité de surface réceptrice placée sur terre perpendiculairement à la direction de la source, par seconde et par hertz de bande. Étant donnée la faible intensité des radio-sources on exprime $S(\nu)$ en jansky.

$$1 \text{ jansky} = 10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}.$$

1.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E., Bec-Borsenberger, A., et al. : 2003, Improvement of the ephemerides of Phoebe, 9th satellite of Saturn, from new observations made from 1995 to 2000, *Astron. Astrophys.* **411**, 309.
- Aksnes, K. : 1978, The motion of Jupiter XIII (Leda), 1974-2000, *Astron. J.* **83**, 1249.
- Banfield, D., Murray, N. : 1992, A dynamical history of the inner Neptunian satellites, *Icarus* **99**, 390.
- Bec-Borsenberger, A. : 2004, Communication privée.
- BIPM : 1998, *Le Système International d'unités (SI)*, Pavillon de Breteuil, Sèvres.
- Blaauw, A., Gum, C.S., et al : 1960, The new IAU system of galactic coordinates (1958 revision), *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **121**, 123.
- Bond, W.C. : 1851, On the new ring of Saturn, *Astron. J.* **2**, 5.
- Bretagnon, P. : 2002, Communication privée.
- Buratti, B., Veverka, J. : 1984, Voyager photometry of Rhea, Dione, Tethys, Enceladus and Mimas, *Icarus* **58**, 254.
- Bureau des longitudes : 1981, La physique, *Encyclopédie scientifique de l'univers IV*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : 1986, Les étoiles, le système solaire, *Encyclopédie scientifique de l'univers II*, Gauthier-Villars, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1995, Éphémérides des satellites de Mars, Jupiter, Saturne et Uranus, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bureau des longitudes : à partir de 1996, Éphémérides des satellites faibles de Jupiter et de Saturne, *Supplément à la Connaissance des Temps*, Bureau des longitudes, Paris.
- Bursa, M. : 1992, Parameters of common relevance of astronomy, geodesy and geodynamics, *Bull. Géod.* **66**, 193.
- Campbell, J.K., Anderson, J.D. : 1989, Gravity field of the Saturnian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **97**, 1485.
- Campbell, J.K., Synnot, S.P. : 1985, Gravity field of the Jovian system from Pioneer and Voyager tracking data, *Astron. J.* **90**, 364.
- Chapront-Touzé, M. : 1988, ESAPHO : a semi-analytical theory for the orbital motion of Phobos, *Astron. Astrophys.* **200**, 255.
- Chapront-Touzé, M. : 1990, Orbits of the Martian satellites from ESAPHO and ESADE theories, *Astron. Astrophys.* **240**, 159.
- Christy, J.W., Harrington, R.S. : 1978, The satellite of Pluto, *Astron. J.* **83**, 1005.
- Cohen, E.R., Taylor, B.N. : 1986, The 1986 adjustment of the fundamental physical constants, *Codata Bulletin* **63**.
- Dickey, J.O. : 1989, Intercomparisons between kinematic and dynamical systems, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht, 305.

- Dourneau, G. : 1993, Orbital elements of the eight major satellites of Saturn determined from a fit of their theories of motion to observations from 1886 to 1985, *Astron. Astrophys.* **267**, 292.
- Elliot, J.L., Dunham, E., Millis, R.L. : 1977, Discovering the rings of Uranus, *Sky and Telescope* **53**, 412.
- Esposito, L.W., Dilley, J.P., Fountain, J.W. : 1980, Photometry and polarimetry of Saturn's rings from Pioneer Saturn, *J. Geophys. Res.* **85**, 5948.
- Esposito, L.W., Cuzzi, J.N., et al. : 1984, Saturn's rings, in *Saturn*, T. Gehrels and M.S. Matthews eds., 473.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feibelman, W.A. : 1967, Concerning the "D" ring of Saturn, *Nature* **214**, 793.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Les solutions planétaires de l'IMCCE, bilan et perspectives. *Notes scientifiques et techniques de l'Institut de mécanique céleste* S81.
- Fountain, J.W., Larson, S.M. : 1978, Saturn's ring and nearby faint satellites, *Icarus* **36**, 92.
- French, R.G., Elliot, J.L., et al. : 1988, Uranian ring orbits from Earth-based and Voyager, occultation observations, *Icarus* **73**, 349.
- Fukushima, T. : 1990, System of astronomical units and constants, *IAU-WGRS/SGAC Circ.* **13**.
- Fukushima, T. : 2000, Report on astronomical constants, Proc. IAU Coll. **180**, 417.
- Gehrels, T., Baker, L.R., et al. : 1980, Imaging photopolarimeter on Pioneer Saturn, *Science* **207**, 434.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1980, The satellite of Pluto, II, *Astron. J.* **85**, 442.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al., 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- Harrington, R.S., Christy, J.W. : 1981, The satellite of Pluto, III, *Astron. J.* **86**, 442.
- Hubbard, W., Brahic, A., et al. : 1986, Occultation detection of a Neptunian ring-like arc, *Nature* **319**, 636.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* **13**, D.D. McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS Technical note* **32**, D.D. McCarthy ed., U. S. naval observatory, G. Petit ed., BIPM.
- Jacobson, R.A. : 1990, The orbits of the satellites of Neptune, *Astron. Astrophys.* **231**, 241.
- Jacobson, R.A., Campbell, J.K., et al. : 1992, The masses of Uranus and its major satellites from Voyager tracking data and Earth-based Uranian satellite data, *Astron. J.* **103**, 2068.
- Jacobson, R.A., Riedel, J.E., Taylor, A.H. : 1991, The orbits of Triton and Nereid from spacecraft and Earth-based observations, *Astron. Astrophys.* **247**, 565.
- Johnson, T., Becklin, E.E., et al. : 1979, Jupiter, *Circ. UAI* **3338**.
- Kerr, F.J., Lynden-Bell, D. : 1986, Review of galactic constants, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.* **221**, 1023.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86. An analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.* **188**, 212.

- Lieske, J.H. : 1980, Improved ephemerides of the Galilean satellites, *Astron. Astrophys.* **82**, 340.
- Lieske, J.H. : 1987, Galilean satellites evolution : observational evidence for secular changes in mean motions, *Astron. Astrophys.* **176**, 146.
- Melbourne, W., Anderle, R., et al. : 1983, Project MERIT standards, *U.S. Naval Observatory, Circ.* **167**.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, **80**, 205.
- Murray, C.A. : 1989, The transformation of coordinates between the systems of B1950.0 and J2000.0 and the principal galactic axes referred to J2000.0, *Astron. Astrophys.* **218**, 325.
- Nicholson, P.D., Cooke, M.L., et al. : 1990, Five stellar occultations by Neptune : further observations of ring arcs, *Icarus* **87**, 1.
- Nicholson, P.D., Matthews, K. : 1991, Near-infrared observations of the Jovian ring and small satellites, *Icarus* **93**, 331.
- Null, G.W., Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1993, Masses and densities of Pluto and Charon, *Astron. J.* **105**, 2319.
- Owen, W.M., Synnott, S.P. : 1987, Orbits of the ten small satellites of Uranus, *Astron. J.* **93**, 1268.
- Owen, W.M., Vaughan, R.M., Synnott, S.P. : 1991, Orbits of the six new satellites of Neptune, *Astron. J.* **101**, 1511.
- Pascu, D., Panossian, S.P., et al. : 1992, B, V photometry of Thebe (JXIV), *Icarus* **98**, 38.
- Rocher, P. : 1996, Communication privée.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Seidelmann, P.K., Abalakin, V.K., et al. : Report of the IAU/IAG working group on cartographic coordinates and rotational elements of the planets and satellites : 2002, *Celest. Mech.* **82**, 83.
- Showalter, M.R., Cuzzi, J.N., et al. : 1986, Satellite “wakes” and the orbit of the Encke gap moonlet, *Icarus* **66**, 297.
- Showalter, M.R. : 1990, Saturn, *Circ. UAI* **5052**.
- Simon, J.-L. : 2004, Communication privée.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Smith, B.A., Soderblom, L., et al. : 1981, A new look at the Saturn system : the Voyager 2 images, *Science* **212**, 163.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Stone, E.C., Miner, E.D. : 1982, Voyager 2 encounter with the Saturnian system, *Science* **215**, 499.
- Synnott, S.P. : 1984, Orbits of the small inner satellites of Jupiter, *Icarus* **58**, 178.
- Synnott, S.P., Peters, et al. : 1981, Orbits of the small satellites of Saturn, *Science* **212**, 191.
- Synnott, S.P., Terrile, R.J., et al. : 1983, Orbits of Saturn’s F ring and its shepherding satellites, *Icarus* **53**, 156.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1990, Further analysis of Pluto-Charon mutual event observations - 1990, *BAAS* **22**, 1129.
- Tholen, D.J., Buie, M.W. : 1997, The orbit of Charon.I. New Hubble Space telescope observations,

Icarus **125**, 245.

- Tholen, D.J., Zellner, B. : 1983, Eight-color photometry of Hyperion, Iapetus and Phoebe, *Icarus* **53**, 341.
- Thomas, P., Weitz, C., Veverka, J. : 1989, Small satellites of Uranus : disk integrated photometry and estimated radii, *Icarus* **81**, 92.
- Thuillot, W., Vu, D.T. : 1986, Excentricités et inclinaisons moyennes des orbites des satellites galiléens de Jupiter, *Notes scientifiques et techniques du Bureau des longitudes* **S009**.
- Tyler, G.L., Eshleman, V.R., et al. : 1982, Radio science with Voyager 2 at Saturn : atmosphere and ionosphere and the masses of Mimas, Tethys and Iapetus, *Science* **215**, 553.
- Tyler, G.L., Balmino, G., et al. : 2003, USA_NASA_JPL_MORS_1021,
(http://pds-geosciences.wustl.edu/geodata/mgsmr55dpv1/mors_1021).
- UAI : 1966, Proceedings of the XIIth general assembly, Hambourg 1964, *Trans. IAU XII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1977, Proceedings of the XVIth general assembly, Grenoble 1976, *Trans. IAU XVI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1982, Proceedings of the XVIIIth general assembly, Patras 1982, *Trans. IAU XVIII B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1985, Proceedings of the XIXth general assembly, Delhi 1985, *Trans. IAU XIX B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 1992, Proceedings of the XXIst general assembly, Buenos Aires 1991, *Trans. IAU XXI B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2000, Proceedings of the XXIVst general assembly, Manchester 2000, *Trans. IAU XXIV B*, Reidel, Dordrecht.
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- Will, C. M. : 2006, The Confrontation between General Relativity and Experiment,
(<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2006-3/>).
- Young, L.A., Olkin, C.B., et al. : 1994, The Charon-Pluto mass ratio from MKO astrometry, *Icarus* **108**, 186.
- Yuan, D-N., Sjongren, W.L. et al. 2001, Gravity Field of Mars : A 75th Degree and Order Model, *J. Geoph. Res.*, **106**, **E10**.

CHAPITRE 2

ÉCHELLES DE TEMPS

F. MIGNARD

2.1. INTRODUCTION. LE TEMPS ET LES ASTRONOMES

Depuis 1967, la définition de la seconde est entre les mains des physiciens, et non plus entre celles des astronomes comme ce fut le cas pendant de nombreux siècles. Cependant les éphémérides astronomiques publiées sous les auspices du Bureau des longitudes continuent de porter le même nom depuis leur fondation, *La Connaissance des Temps*. Cela suffit à rappeler que si les astronomes ne sont plus les gardiens de l'unité de temps, ils portent toujours un grand intérêt à la définition et aux réalisations de cette grandeur. À cela, il y a au moins deux raisons :

– Dans toutes les étapes de son développement la mécanique céleste a utilisé pour argument de ses théories le temps uniforme idéal introduit par Newton. Les développements les plus récents prennent pour base la théorie relativiste de la gravitation et le choix du système de coordonnées impose celui de la variable indépendante décrivant le déroulement du temps. On retrouve ce même argument sous forme quantitative dans la colonne d'entrée des éphémérides. Ces dernières étant destinées soit à comparer des observations à des calculs, soit à préparer des observations, il convient donc de définir le plus correctement possible cet argument et de déterminer les relations qu'il entretient avec les échelles de temps usuelles.

– La seconde SI et l'échelle de Temps atomique international n'ont été introduites qu'en 1972. Les premières horloges à césium datent des années cinquante. Pour les années antérieures on ne peut dater des événements dans ces nouvelles échelles et le recours aux temps astronomiques s'impose. Les observations les plus anciennes sont exprimées en temps solaire, d'où la nécessité de conserver la trace de cette échelle et de sa liaison avec le Temps des éphémérides qui est, selon toute vraisemblance, une bonne extrapolation du Temps atomique international dans le passé.

2.2. ÉVOLUTION DES ÉCHELLES DE TEMPS

La complexité de la notion de temps, l'amélioration rapide depuis cinquante ans de la précision avec laquelle on le mesure et les progrès technologiques dans la construction des horloges ont amené les astronomes et les physiciens à définir plusieurs échelles utilisées simultanément. Cette complication sera justifiée dans la suite. Pour le moment donnons un bref aperçu chronologique de l'évolution de la question (Table 2.1).

- La rotation diurne de la Terre autour de son axe a semblé suffisamment uniforme pour que l'on en dérive l'unique échelle de temps alors disponible, d'abord le temps solaire vrai ou moyen pendant plusieurs siècles, puis sa forme la plus élaborée appelé *Temps universel*, abrégé en TU ou UT (Universal Time). Une autre échelle associée à la rotation de la Terre, le *temps sidéral*, n'est pas étudiée ici ; on se reportera, à ce sujet, au paragraphe 3.6.6. L'adoption de nouveaux concepts liés à la rotation de la Terre a été recommandée par l'UAI (*cf.* paragraphe 3.6).
- La mise en évidence de diverses irrégularités dans la rotation de la Terre amena ensuite les astronomes à introduire, pour le calcul des éphémérides des corps du système solaire, une nouvelle échelle basée sur la révolution de la Terre autour du Soleil appelée *Temps des éphémérides*, abrégé en TE ou ET (Ephemeris Time).
- En 1955, les horloges à césium ont permis aux physiciens de construire une échelle appelée *Temps atomique international*, abrégé en TAI. Cette échelle, proche du TE, en diffère de 32.184 secondes, résultat d'un manque de coordination à l'époque entre astronomes et physiciens (la nouvelle échelle a été ajustée sur la valeur du TU en 1958 au lieu de l'être sur celle du TE). Nous retrouverons constamment dans la suite ce décalage intempestif qui n'a aucune justification scientifique et dont il faut bien s'accommoder.
- En 1976, l'augmentation de la précision des observations dans le système solaire, due en particulier à la précision des mesures de distances par radar, ainsi que l'amélioration des théories de mécanique céleste, grâce aux intégrations numériques rapides par ordinateur, ont conduit l'Union Astronomique Internationale (UAI) à définir des échelles de temps tenant compte d'effets relativistes. L'une d'elles est le *Temps dynamique barycentrique* (TDB), échelle de temps-coordonnée destinée à calculer les éphémérides des corps du système solaire dans un système d'axes ayant pour origine le barycentre du système solaire. L'autre est le *Temps dynamique terrestre* (TDT), très voisin du TE et destinée à l'établissement des éphémérides géocentriques apparentes des corps du système solaire. Le TDB et le TDT diffèrent par des termes périodiques et de Poisson de faible amplitude. Ces deux échelles ont été introduites dans le système UAI 1976, adopté à l'assemblée générale de l'UAI à Grenoble en 1976, et utilisées dans les éphémérides nationales à partir de 1984.
- Depuis son assemblée générale de Buenos-Aires en 1991, l'UAI a précisé à plusieurs reprises les définitions des échelles de temps dans un cadre relativiste :
 - À tout système de masses dans l'univers peut être associé un système de coordonnées spatio-temporelles centré au barycentre des masses considérées et ne présentant pas de rotation globale par rapport aux galaxies lointaines. La coordonnée temporelle de ce système est le temps-coordonnée correspondant (TC-), où le tiret figure à la place d'une lettre caractérisant le système

Table 2.1. Évolution des échelles de temps.

Époque	Phénomène physique	Définition de la seconde	Échelle de temps	Exactitude relative maximale
< 1960	Rotation de la Terre	1/86 400 du jour solaire moyen	Temps universel (TU ou UT)	10^{-7}
1960-1967	Mouvement orbital de la Terre	1/31 556 925.9747 de l'année tropique 1900.0	Temps des éphémérides (TE ou ET)	10^{-8}
> 1967	Transition entre deux niveaux d'un atome	9 192 631 770 périodes d'une transition du césium 133	Temps atomique international (TAI)	10^{-14}

considéré. Ainsi pour étudier le mouvement des satellites de Jupiter on pourrait utiliser le *Temps coordonnée jovicentrique* (TCJ), pour le mouvement des satellites de Saturne le *Temps coordonnée saturnocentrique* (TCS) etc.

Les principales nouvelles échelles de temps ont été désignées par l'UAI.

– Ce sont le *Temps coordonnée barycentrique* (TCB), lié au barycentre du système solaire et le *Temps coordonnée géocentrique* (TCG), lié au centre de masse de la Terre. Le TCB et le TCG diffèrent par des termes séculaires et par des termes périodiques dont la liste est donnée dans la suite (cf. 2.7.3). Cette différence dépend également de la position de l'observateur par rapport au géocentre.

– Le TDT est remplacé par le *Temps terrestre* (TT) qui lui est très proche. Il est donc de même très proche du TE. Le TT est utilisé pour l'établissement des éphémérides géocentriques apparentes des corps du système solaire. Si l'on compare le système UAI 1976 et le nouveau système, le TDB est remplacé par le TCB mais à la place du TDT on a deux échelles le TCG et le TT. Nous reviendrons plus loin sur ce point.

- En 2006, lors de l'assemblée générale de Prague, l'UAI a précisé les relations entre le TCB et TDB afin que ce dernier reste lié au TCB par une relation linéaire tout en demeurant très proche du TT, c'est à dire sans marche systématique entre les deux échelles (cf. 2.7.2).

- Plusieurs échelles de temps sont simultanément en usage à l'heure actuelle :

- Le TU pour connaître la position d'un méridien lié à la Terre (celui de Greenwich par exemple) par rapport à la sphère céleste. Le TU subsiste aussi sous la forme UTC (cf. 2.5) comme temps en usage dans la vie civile et pour dater les observations.

- Le TE sert lors de l'utilisation d'observations de positions d'astres antérieures à l'établissement du TAI.

- Le TDB peut être encore utilisé quand on ne souhaite pas rompre la continuité avec des travaux antérieurs.

- Le TAI est la base des mesures précises de temps et des comparaisons d’horloges. Il sert en pratique à matérialiser le TT. En revanche le TDT disparaît.
- On voit apparaître le TCB et le TCG ainsi, éventuellement, que les temps-coordonnée liés à d’autres systèmes de masses.

2.3. LE TEMPS UNIVERSEL (TU OU UT, UNIVERSAL TIME)

À un instant donné, en un lieu donné l’angle horaire T_v du centre du Soleil est, par définition, le *temps solaire vrai* en ce lieu à cet instant. T_v peut se mettre sous la forme suivante en fonction du temps t d’une échelle de temps uniforme :

$$T_v = A + Bt - E + \tau,$$

où A et B sont des constantes. E , appelé *équation du temps*, est la somme de l’*équation du centre* de période un an due à l’excentricité de l’orbite terrestre, de la *réduction à l’équateur* de période six mois due à l’obliquité de l’écliptique sur l’équateur et des inégalités du temps sidéral (angle horaire du point vernal γ) dues à la précession et à la nutation (cf. 5.2.1.4). L’amplitude de l’équation du temps peut atteindre 16 minutes. Le terme τ représente des inégalités de la rotation de la Terre autour de son axe qu’il est difficile de modéliser.

On appelle *temps solaire moyen* la grandeur T_m définie par :

$$T_m = T_v + E = A + Bt + \tau.$$

Si, enfin, le lieu est sur le méridien de Greenwich (ou *méridien international*), on appelle *Temps universel* (TU ou UT) la quantité :

$$\text{TU} = T_m + 12 \text{ h} = A + Bt + \tau + 12 \text{ h}.$$

On trouvera une définition plus rigoureuse du Temps universel, à partir du temps sidéral, dans le chapitre 6 de l’ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

Le Temps universel est donc un temps uniforme dans la mesure où l’on néglige τ . Or τ contient quatre sortes de termes :

- des termes périodiques saisonniers d’amplitudes maximales de l’ordre de 30 millisecondes ;
- des fluctuations irrégulières de caractère aléatoire pouvant provoquer des écarts de l’ordre de la milliseconde ;
- un ralentissement séculaire de la rotation de la Terre responsable d’un accroissement de la durée du jour d’environ 0.002 s par siècle ;
- des fluctuations décennales dues aux interactions noyau-manteau et pouvant atteindre plusieurs millisecondes.

Ces inégalités ont fait abandonner le TU au profit d'échelles de temps plus uniformes. Cependant il est calculé en permanence par l'*International Earth rotation and Reference system Service (IERS)* qui le publie a posteriori sous le nom de UT1. Ce sigle signifie que le pôle qui intervient dans la définition des angles horaires est le pôle céleste vrai de la Terre, mobile à la surface de celle-ci du fait du mouvement du pôle.

UT1 sert à définir l'échelle UTC étudiée plus loin.

On appelle *temps civil* d'un lieu le temps moyen de ce lieu augmenté de douze heures de telle sorte que le temps civil soit égal à 0 h au milieu de la nuit. Ainsi le Temps universel est le temps civil de Greenwich.

Par ailleurs le *temps légal* est le temps utilisé sur tout le territoire d'un pays donné. Il est décidé par les autorités administratives qui choisissent, en général, d'adopter UTC décalé d'un nombre entier d'heures.

2.4. LE TEMPS ATOMIQUE INTERNATIONAL (TAI)

2.4.1. Étalons de fréquence. La seconde SI

Durant la seconde guerre mondiale le développement des radars a considérablement amélioré la technologie des circuits à micro-ondes et des cavités à haute fréquence. Ces cavités pouvaient être réglées de façon suffisamment précise pour correspondre aux fréquences de transition atomiques et moléculaires dans le domaine centimétrique. En 1948 le U.S. Bureau of Standards était en mesure d'utiliser une cavité ajustée sur une fréquence de transition de l'ammoniac.

Les mêmes principes furent appliqués à des atomes, en particulier au césium 133. En juin 1955 L. Essen et J. V. L. Parry du National Physical Laboratory en Grande Bretagne réalisèrent le premier étalon de fréquence au césium digne de ce nom et portèrent cette précision à quelques 10^{-10} . De 1955 à 1958 fut menée une expérience commune entre le National Physical Laboratory et l'U.S. Naval Observatory de Washington afin de déterminer la relation entre la fréquence de transition du césium et la seconde du Temps des éphémérides (*cf.* 2.6) ; la valeur trouvée, de $9\,192\,631\,770 \pm 20$ Hz (en secondes des éphémérides), avait une précision limitée par la qualité de la réalisation du Temps des éphémérides et non par la capacité de lecture de la fréquence.

La treizième conférence générale des poids et mesures adopta une nouvelle définition de la seconde qui devint l'unité du Système International en 1967 :

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133.

Des laboratoires spécialisés construisent des étalons de fréquence à césium afin de réaliser au mieux, c'est-à-dire avec la plus grande exactitude, la définition de la seconde. Ces étalons, qualifiés d'étalons primaires, ont une exactitude meilleure que 1×10^{-14} , atteignant même avec les horloges à fontaine à atomes froids (Allemagne, États-Unis, France) des valeurs de 1×10^{-15} . Ces nouvelles

horloges font maintenant partie du réseau mondial d'horloges et contribuent à l'exactitude du Temps atomique international.

2.4.2. Réalisation du Temps atomique international

L'étalon de fréquence permet par accumulation des secondes SI de construire une échelle de temps continue, pour autant que l'horloge ou les horloges qui servent à construire cette échelle aient un fonctionnement continu. Une définition a été proposée en 1970 par le Comité consultatif pour la définition de la seconde (CCDS), approuvée la même année par le Comité international des poids et mesures. Finalement la quatorzième conférence générale des poids et mesures, en octobre 1971, a défini la référence temporelle, le Temps atomique international (TAI) :

Le Temps atomique international est la coordonnée de repérage temporel établie par le Bureau international de l'heure sur la base des indications d'horloges atomiques fonctionnant dans divers établissements conformément à la définition de la seconde, unité de temps du Système International d'unités.

Le Bureau international de l'heure (BIH) a appliqué cette définition et construit une échelle de temps fondée sur l'accumulation des secondes SI. Le TAI est donc une échelle de temps intégrée, contrairement aux échelles dynamiques basées sur un découpage arbitraire d'une échelle d'écoulement.

Il y avait au moins deux choix possibles pour réaliser l'échelle TAI :

- soit privilégier une horloge particulière, une horloge étalon à césium, en fonctionnement permanent dont la lecture serait par définition la réalisation du TAI ;
- soit établir l'échelle TAI sur un réseau suffisamment large d'horloges disséminées dans plusieurs laboratoires fournissant leur propre lecture à un centre de coordination. Un algorithme permet alors de calculer le TAI à partir de ces données. À l'heure actuelle la fabrication du TAI est assurée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) après le transfert en 1985 de la section temps du BIH de l'observatoire de Paris vers le BIPM.

La première solution, qui aurait eu le mérite de la simplicité (TAI attaché à une horloge, en un seul lieu), présentait un danger évident de discontinuité en cas de mauvais fonctionnement, voire de défaillance totale, de l'horloge étalon qui ne présente pas la même garantie d'inaltérabilité que les mouvements célestes. La seconde solution est quasiment exempte de ce risque et permet de plus de bénéficier d'une amélioration statistique en raison de la multiplicité des mesures. Le principe de l'algorithme est fondé sur une moyenne pondérée des différentes lectures des horloges participantes. À l'heure actuelle environ 200 horloges dans une cinquantaine de laboratoires contribuent au TAI. L'origine du TAI a été choisie arbitrairement en coïncidence avec UT1 le 1 janvier 1958 à 0h UT1.

2.4.3. Uniformité du TAI

Dire qu'une échelle est uniforme suppose l'existence d'une échelle de temps idéale, dont la réalisation satisfèrait l'idée que chacun se fait de l'uniformité. Cette notion même ne peut être rendue claire sans recours à des concepts plus simples. Un élément sur lequel il est aisé de s'entendre est le suivant : deux échelles de temps T_1 et T_2 ont la même uniformité si elles ne diffèrent que par une dérive linéaire en fonction du temps exprimé par l'une d'entre elles, soit mathématiquement $T_1 = aT_2 + b$. Les échelles liées par ce type de relation sont dites équivalentes. En restreignant la question de l'uniformité du TAI à cet aspect on peut fournir une réponse basée sur l'observation. Les comparaisons du TAI et du Temps des éphémérides effectuées depuis près de quarante ans indiquent que l'écart entre les deux échelles est demeuré constant

$$TE = TAI + 32,184 \text{ s} = TAI + 0,0003725 \text{ jour}$$

et donc que les deux échelles sont équivalentes, à l'incertitude des observations près.

Rien ne dit que la cohérence observée sur quarante ans entre le TAI et le TE persistera encore pendant des siècles. Admettons cependant qu'il en aille ainsi. Le Temps des éphémérides est une réalisation du temps newtonien, c'est-à-dire du paramètre t qui figure dans les équations de la mécanique newtonienne. En ce sens, il est proche de la réalisation d'une échelle idéale définie à partir de concepts théoriques et satisfait la notion d'uniformité qui y est attachée. L'expérience indique qu'il semble en aller de même pour le TAI puisqu'il ne présente pas de dérive par rapport au Temps des éphémérides. Il sera dès lors possible de prendre pour argument des éphémérides des corps du système solaire le TAI, ou une échelle voisine qui lui est rattachée et qui est corrigée des effets locaux prévus par la théorie de la relativité.

On ne doit pas être totalement surpris de l'accord observé entre le Temps des éphémérides et le Temps atomique. Le Temps des éphémérides est une réalisation du temps défini par le principe d'inertie, base de la loi fondamentale de la dynamique. De ce fait tout objet mobile dont le mouvement peut être calculé à l'avance dans le cadre de la mécanique newtonienne et dont la position est observable avec une grande précision pourrait théoriquement convenir pour réaliser le Temps des éphémérides. En pratique on se limite au Soleil et à la Lune. Le point important est de posséder une théorie paramétrable dans le cadre de la mécanique newtonienne.

Ce n'est pas le cas du comportement des atomes de césium, dont la théorie relève de la mécanique quantique. Les fréquences de transition font apparaître un temps qui n'est pas directement rattaché au temps de la mécanique. En principe il pourrait être différent, même si pour le moment l'expérience en a décidé autrement. En faveur de cette coïncidence on peut invoquer le principe de correspondance et les équations de Ehrenfest qui régissent l'évolution du centre du paquet d'ondes associé à une particule. Pour les grands nombres quantiques ces équations se confondent avec les équations classiques de Hamilton-Jacobi, donc avec la mécanique newtonienne. La discussion n'est cependant pas complète car en toute rigueur le mouvement du centre du paquet d'ondes quantiques n'obéit pas aux lois de la mécanique classique et le temps qui apparaît dans les équations pourrait au niveau microscopique ne pas être identique au temps de la dynamique.

Finalement la réalisation du Temps atomique à partir des étalons au césium repose sur l'hypothèse, non démentie par l'expérience, de l'invariabilité dans l'espace et dans le temps de

la fréquence associée à la transition entre deux niveaux déterminés d'un atome de césium 133 non perturbé.

2.5. LE TEMPS UNIVERSEL COORDONNÉ (UTC, UNIVERSAL TIME COORDINATED)

2.5.1. Définition et propriétés

L'échelle de Temps atomique constituée comme il est indiqué dans les sections précédentes présentait dès l'origine deux défauts pour les utilisateurs.

En premier lieu son origine arbitraire impliquait que la datation d'un événement bien identifié dans cette échelle ne coïncidait pas avec la datation donnée dans une autre échelle, temps solaire ou Temps des éphémérides. Ce n'est pas un défaut bien gênant et il était toujours possible d'y remédier par un choix adapté de l'origine.

En second lieu, l'échelle du Temps atomique étant totalement dissociée des mouvements célestes il s'ensuivait que la durée du jour solaire moyen ne comptait plus exactement 86 400 secondes de TAI. Même en ajustant au mieux la durée de la seconde dans la définition, cet accord à un instant particulier ne pouvait se maintenir en raison des irrégularités de la rotation de la Terre et de son ralentissement séculaire. C'est d'ailleurs ce phénomène, et surtout le fait qu'on ne puisse le prévoir avec suffisamment d'exactitude, qui a conduit à abandonner le mouvement de la Terre comme source du temps uniforme.

Cependant lors du passage du temps astronomique au Temps atomique on a cru bon de ne pas perdre totalement la correspondance entre le temps et l'orientation de la Terre dans l'espace. Pour cela on a créé une échelle de temps, dite du *Temps universel coordonné* (dénomination officielle : UTC, Universal Time Coordinate), hybride en ce sens qu'elle possède les qualités d'uniformité du Temps atomique par morceaux, mais qui grâce à des sauts de seconde appropriés permet de maintenir en phase la rotation de la Terre et les horloges des laboratoires. En somme le UTC est une approximation du Temps universel lue sur un garde-temps meilleur que la rotation de la Terre (Fig. 2.1). La rotation de la Terre étant représentée par UT1, on a depuis le 1 janvier 1972 :

$$\text{TAI} - \text{UTC} = n \text{ secondes (n est un entier),}$$

$$| \text{UT1} - \text{UTC} | \leq 0,9 \text{ seconde.}$$

Selon le degré d'urgence, le saut de seconde est placé en priorité à la fin de décembre ou de juin, l'annonce étant faite au moins six mois à l'avance. La relation exacte entre UT1 et UTC ne peut être connue qu'avec retard lorsque les mesures de la rotation de la Terre sont publiées. Ceci n'est plus lié à la métrologie du temps, mais bien à l'étude de l'orientation de la Terre dans l'espace,

dont la connaissance est tout à fait essentielle à la préparation et au traitement des observations. La table 2.2 donne la différence TAI – UTC selon l'IERS.

2.5.2. Le futur de l'UTC

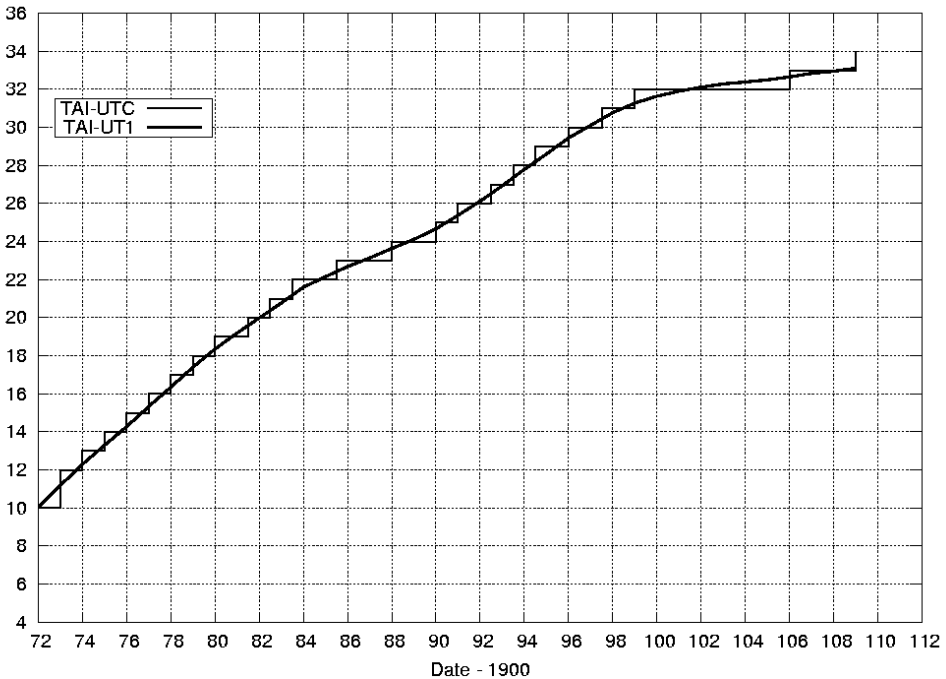
L'avenir de UTC comme échelle largement diffusée et accessible pour les besoins civils est en discussion au sein des instances internationales incluant les communautés astronomique, géodésique et géophysique ainsi que les organismes de télécommunications et de navigation. Le reproche principal que l'on peut faire à cette échelle est son absence de continuité matérialisée par l'introduction d'une seconde intercalaire, imposant des mises à jour de tables dans des programmes informatiques. De plus certains systèmes automatiques ne sont pas en mesure d'intégrer ces sauts. Cependant l'idée de remplacer l'UTC actuel par une échelle continue sans relation à long terme avec le temps solaire moyen ne fait pas l'unanimité, bien que le tendance soit vers une suppression des sauts de seconde avec un décalage de plusieurs années entre la décision et sa mise en œuvre. En France, le Bureau des Longitudes a émis au printemps 2007 une recommandation en faveur de la suppression de la seconde intercalaire, de la conservation de la terminologie UTC pour l'échelle continue et de sa réalisation par le BIPM.

De nombreuses consultations sont en cours et différentes solutions sont examinées au sein de groupes de travail, incluant :

- le statu-quo (avec une augmentation du nombre de sauts de seconde dans le futur en raison de l'allongement de la durée du jour),
- la suppression des sauts de seconde ce qui laisserait dériver l'échelle UTC par rapport à TAI,
- un élargissement de la tolérance conduisant à des sauts plus importants mais rares, combinés ou non à des sauts réguliers décidés à l'avance,
- le passage à une autre échelle qui pourrait être le TAI ou bien une échelle liée au GPS ou à Galileo,
- la possibilité la plus spectaculaire envisagée dans ces discussions (mais qui n'a aucune chance d'aboutir) étant de modifier la définition de la seconde pour maintenir l'accord approximatif de 86 400 secondes par jour solaire moyen.

Table 2.2. Différence TAI – UTC du 1 janvier 1972 au 1 janvier 2009 (selon l'IERS).

Date début	Date fin	TAI – UTC	Date début	Date fin	TAI – UTC
1/01/1972	1/07/1972	10 s	1/07/1985	1/01/1988	23 s
1/07/1972	1/01/1973	11 s	1/01/1988	1/01/1990	24 s
1/01/1973	1/01/1974	12 s	1/01/1990	1/01/1991	25 s
1/01/1974	1/01/1975	13 s	1/01/1991	1/07/1992	26 s
1/01/1975	1/01/1976	14 s	1/07/1992	1/07/1993	27 s
1/01/1976	1/01/1977	15 s	1/07/1993	1/07/1994	28 s
1/01/1977	1/01/1978	16 s	1/07/1994	1/01/1996	29 s
1/01/1978	1/01/1979	17 s	1/01/1996	1/07/1997	30 s
1/01/1979	1/01/1980	18 s	1/07/1997	1/01/1999	31 s
1/01/1980	1/07/1981	19 s	1/01/1999	1/01/2006	32 s
1/07/1981	1/07/1982	20 s	1/01/2006	1/01/2009	33 s
1/07/1982	1/07/1983	21 s			34 s
1/07/1983	1/07/1985	22 s			

**Fig. 2.1.** Différence TAI – UTC et différence observée TAI – UT1, en secondes, de 1972 à 2009.

2.6. LE TEMPS DES ÉPHÉMÉRIDES (TE OU ET, EPHEMERIS TIME)

La loi de Newton et le principe d'inertie supposent l'existence d'un temps absolu, uniforme, préexistant à la matière. Un mouvement n'étant uniforme que vis-à-vis d'une échelle de temps particulière, il est clair que l'on ne peut définir le mouvement uniforme sans être en possession au préalable d'une échelle de temps définie sans relation avec le mouvement. Une solution consiste à reconnaître un mouvement uniforme a priori (absence de forces agissant sur le mobile, par exemple) et à mesurer le temps uniforme en découpant le mouvement par des longueurs égales, en mettant en œuvre l'hypothèse fondamentale pour la mesure du temps de la reproduction à l'identique des phénomènes soumis aux mêmes causes. C'est au travers de ce principe qu'ont été introduits les temps dynamiques : on admet la loi temporelle du mouvement calculée à partir d'un modèle de force et de la loi de la dynamique de Newton.

Le Temps des éphémérides est alors un temps dynamique particulier de la mécanique newtonienne. La théorie mise en œuvre est celle du mouvement orbital de la Terre autour du Soleil avec le modèle de force le plus complet et le plus exact possible. L'observation donne la position angulaire du Soleil dans un système de référence inertiel et permet ainsi la lecture du temps associé à un événement particulier : le Soleil en coïncidence avec une marque de longitude. L'équation de définition est l'expression numérique de la longitude géométrique moyenne du Soleil résultant des travaux de Newcomb. En 1952, l'Union Astronomique Internationale a adopté l'expression numérique, exacte par définition :

$$L_0 = 279^\circ 41' 48'',04 + 129\,602\,768'',13 T + 1'',089 T^2,$$

où T désigne l'échelle du Temps des éphémérides mesurée en siècles juliens de 36 525 jours des éphémérides depuis l'instant (proche de 1900.0) correspondant à l'événement :

$$T = 0 \text{ soit } L_0 = 279^\circ 41' 48'',04 = 279^\circ,696\,677\,77.$$

La date des éphémérides associée à $T = 0$ est :

$$\text{TE} = 0, 5 \text{ janvier } 1900 = 2\,415\,020,0 \text{ jour julien des éphémérides.}$$

Cette définition contient celle de la seconde en raison de la présence d'un moyen mouvement. La onzième conférence des poids et mesures décida en 1960 que :

La seconde est la fraction 1/31 556 925,9747 de l'année tropique pour le 0 janvier 1900 à 12h du Temps des éphémérides.

Cette définition, difficile à réaliser en pratique à une date éloignée de l'origine et fort délicate à comprendre hors du cercle des astronomes spécialisés, disparut en 1967 en temps qu'unité du Système International d'unités au profit de la définition fondée sur le césium 133.

Idéalement, pour réaliser le Temps des éphémérides il faut observer la longitude du Soleil, effectuer toutes les corrections permettant d'en déterminer la longitude géométrique moyenne, puis résoudre l'équation de définition pour l'inconnue T . Mathématiquement il y a de nombreuses solutions, mais un encadrement préalable au moyen d'un garde-temps permet d'aboutir à une

solution unique. Avec une précision typique de $0'',5$ sur la détermination de la longitude du Soleil, on obtiendrait une incertitude de 12 s sur la lecture de l'horloge céleste. Heureusement on n'avait recours au Soleil (et à la Lune dont le mouvement est treize fois plus rapide) que pour des mesures d'intervalles longs.

Puisqu'on est amené à rejeter l'échelle TU, insuffisamment uniforme, le TE est la seule échelle de temps uniforme disponible pour l'analyse des observations des corps du système solaire faites avant l'introduction du TAI. Les définitions des nouvelles échelles assurent la continuité du TDT, puis du TT, avec le TE pour les époques antérieures à 1955, compte tenu de la précision des observations des planètes et des satellites. Elles assurent également la continuité du TE avec le TDB puisque, comme nous le verrons, TDB et TDT diffèrent de termes périodiques d'amplitudes inférieures à 1,7 millièmme de seconde. En revanche comme TCB et TCG ont des variations séculaires par rapport à TT, il y a une discontinuité entre TE et ces deux échelles que nous retrouverons dans les tables données plus loin.

2.7. LES ÉCHELLES DE TEMPS RELATIVISTES

2.7.1. Les échelles TCB et TCG

Depuis 1991, les systèmes de référence d'espace et de temps adoptés par l'UAI sont construits dans le cadre de la théorie de la relativité générale. La théorie est la forme standard obtenue en donnant aux paramètres post-newtoniens leur valeur nominale, $\gamma = 1$ et $\beta = 1$ pour les deux plus importants. Ce cadre général est présenté dans le paragraphe 3.2 consacrée aux systèmes de référence. Dans ce chapitre nous considérons uniquement les conséquences sur les échelles de temps avec l'introduction des deux échelles de temps-coordonnée TCB et TCG, qui seront ensuite reliées à des réalisations, dont le TAI. La théorie de la relativité et la précision atteinte aujourd'hui dans les observations amènent à distinguer les échelles de temps dynamiques selon qu'elles sont considérées comme échelles de temps-coordonnée ou comme échelles de temps propre. On présente ici les calculs qui établissent la relation la plus importante entre ces échelles.

Soit le système de coordonnées barycentriques (BCRS) dans lequel la métrique de l'espace-temps dans le système solaire, en utilisant la convention de sommation d'Einstein (voir 3.1.1), prend la forme :

$$ds^2 = g_{\alpha\beta} dx^\alpha dx^\beta,$$

où l'on peut écrire les différentes composantes du tenseur métrique $g_{\alpha\beta}$ en fonction des coordonnées barycentriques (t : TCB, \mathbf{x}). En considérant les planètes comme des masses ponctuelles, les solutions des équations d'Einstein s'écrivent, à l'ordre $1/c^4$ (UAI, 2001),

$$\begin{aligned} g_{00} &= - \left(1 - \frac{2U}{c^2} + \frac{2U^2}{c^4} + \frac{\Delta(t, \mathbf{x})}{c^4} \right), \\ g_{0i} &= - \frac{4U^i}{c^3}, \\ g_{kl} &= \left(1 + \frac{2U}{c^2} \right) \delta_{kl}, \end{aligned}$$

où δ_{ki} est le symbole de Kronecker, égal à 0 si $k \neq i$ et à 1 si $k = i$. Dans les expressions ci-dessus U est le potentiel newtonien produit au point $M(\mathbf{x})$ par les planètes, de masses m_p et de vecteurs positions \mathbf{x}_p :

$$U = \sum_p \frac{G m_p}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|}.$$

c est la vitesse de la lumière ($c = 299\,792\,458 \text{ ms}^{-1}$). A l'approximation considérée pour obtenir la relation entre les échelles barycentriques et géocentriques, le potentiel vecteur U^i est donné par,

$$U^i = \sum_p \frac{G m_p v_p^i}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|}.$$

où \mathbf{v}_p est la vitesse-coordonnée barycentrique de la planète p . (Une vitesse-coordonnée est définie comme la dérivée des coordonnées spatiales du vecteur \mathbf{x} par rapport au temps-coordonnée, x^0 .) Enfin

$$\Delta(t, \mathbf{x}) = \sum_p \frac{G m_p}{|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|} \left(-2v_p^2 + \sum_{q \neq p} \frac{G m_q}{|\mathbf{x}_q - \mathbf{x}_p|} + \frac{((\mathbf{x} - \mathbf{x}_p) \cdot \mathbf{v}_p)^2}{2|\mathbf{x} - \mathbf{x}_p|^2} + \frac{(\mathbf{x} - \mathbf{x}_p) \cdot \mathbf{a}_p}{2} \right) \quad (2.1)$$

où \mathbf{a}_p est l'accélération-coordonnée barycentrique de la planète p . Des définitions similaires ont été introduites par les résolutions de l'UAI pour le système géocentrique (GCRS) avec les coordonnées (T : TCG, \mathbf{X}), dont l'usage est limité à la zone proche de la Terre. Ces systèmes sont sur le plan théorique équivalents, et des relations bi-univoques permettent de passer d'un système à l'autre (voir les équations 3.2.9, 3.2.10 et les équations 3.2.13, 3.2.14). Sur le plan pratique, les calculs seront fortement compliqués par l'usage du système géocentrique pour étudier les mouvements dans le système solaire.

Rappelons que l'on ne doit pas attacher de signification particulière aux coordonnées x^α ; il ne s'agit au départ que de quatre quantités permettant d'étiqueter un point de l'espace-temps et il y a une grande liberté dans leur choix. Cependant, au travers de l'interprétation des mesures et de la comparaison aux modèles paramétrés par ces coordonnées, on finit par leur donner une signification plus physique en terme de distance, instant d'arrivée d'un signal, etc. Par exemple la coordonnée x^0 , divisée par la vitesse de la lumière c , est le temps t qui serait indiqué par une horloge au repos par rapport au barycentre du système solaire et infiniment éloignée des planètes. Ce temps, appelé temps-coordonnée, diffère de celui lu sur une horloge atomique dans un laboratoire, laquelle fournit le temps propre τ de l'horloge sur sa ligne d'Univers. Le TAI d'un autre côté est construit pour être une coordonnée de repérage temporel mais ne coïncide pas avec le x^0/c de la métrique ci-dessus. Le raccordement entre les échelles TCB, TCG et le TAI est examiné dans la section suivante.

Considérons à ce stade le TCG comme étant voisin du temps propre d'une horloge idéale placée au géocentre et soustraite à l'influence gravitationnelle de la Terre. A partir de la métrique du BCRS limitée aux termes en $1/c^2$, on a :

$$ds^2 = - \left(1 - \frac{2U}{c^2} \right) c^2 dt^2 + \left(1 + \frac{2U}{c^2} \right) \left[(dx^1)^2 + (dx^2)^2 + (dx^3)^2 \right]. \quad (2.2)$$

On obtient l'intervalle de temps propre $d\tau$ entre deux événements de l'espace-temps séparés par dt et dx^i par :

$$d\tau^2 = -\frac{ds^2}{c^2} = \left(1 - \frac{2U}{c^2}\right) dt^2 - \left(1 + \frac{2U}{c^2}\right) \frac{v^2}{c^2} dt^2,$$

où

$$v^2 = \sum_{i=1}^3 (\dot{x}^i)^2.$$

v est la vitesse-coordonnée de l'horloge attachée à ces deux événements. À l'ordre $O(c^{-2})$ on obtient sans difficulté :

$$dt = \frac{d\tau}{\left[1 - \frac{U}{c^2} - \frac{v^2}{2c^2}\right]}$$

qui conduit par intégration à l'équation suivante :

$$t - \tau = \int_0^t \left[\frac{U}{c^2} + \frac{v^2}{2c^2} \right] dt. \quad (2.3)$$

Plus généralement en prenant en compte les développements jusqu'en $1/c^4$ (et en négligeant les termes provenant de $\Delta(t, \mathbf{x})$),

$$t - \tau = \frac{1}{c^2} \int_0^t \left[U + \frac{v^2}{2} \right] dt + \frac{1}{c^4} \int_0^t \left[\frac{v^4}{8} + \frac{3v^2U}{2} - \frac{U^2}{2} - 4v^i U^i \right] dt. \quad (2.4)$$

Pour intégrer cette équation il faut tout d'abord particulariser le mouvement de l'horloge par une trajectoire paramétrée au moyen des coordonnées t et x^i , puis exprimer le potentiel $U(\mathbf{x})$ provenant des planètes et de la Lune en chaque point. Sans entrer dans le détail, on voit déjà que pour une horloge placée au géocentre, le terme principal sera une dérive séculaire entre les deux échelles puisque la valeur moyenne de la fonction à intégrer n'est pas nulle. En prenant pour la Terre une orbite circulaire de rayon $a = 1$ UA on obtient pour l'action du Soleil, $U/c^2 \sim GM_{\odot}/ac^2 \sim 9,872 \times 10^{-9}$ et $v^2/2c^2 \sim 4,935 \times 10^{-9}$, soit $\langle d\tau/dt \rangle \sim 1 - 1,4807 \times 10^{-8}$. La valeur exacte de cette constante dépend de l'éphéméride utilisée pour l'intégration, du temps d'intégration et de la procédure de calcul pour obtenir cette moyenne. Il reste donc une certaine ambiguïté dans sa définition et sa valeur. Selon la durée de l'intervalle un terme à longue période peut devenir un terme séculaire et donc contribuer à la valeur moyenne. Ceci est particulièrement évident dans le cas où l'on effectue des intégrations numériques des mouvements car ôter les termes séculaires ne peut se faire qu'en effectuant des moyennes sur des intervalles de temps dont la longueur est arbitrairement choisie. L'estimation la plus récente (Irwin et Fukushima, 1999) donne,

$$\left\langle \frac{d\text{TCG}}{d\text{TCB}} \right\rangle = 1 - L_C,$$

avec

$$L_C = 1,480\,826\,867\,41 \times 10^{-8} \pm 2 \times 10^{-17}.$$

L'intégration complète de l'équation aboutit à une éphéméride du TCG en fonction du TCB qui peut être représentée par des séries de polynômes de Tchebychev, ou bien par un développement

analytique en série de Poisson, si les théories planétaires sous-jacentes sont analytiques. C'est le cas de la solution de la table 2.3 qui donne les principaux termes de la série calculée par Fairhead et Bretagnon (1990) à partir de la théorie VSOP87. Cette série a la forme :

$$P = \sum_{\alpha} \text{TDB}^{\alpha} \left[\sum_i A_i^{\alpha} \sin(\nu_i^{\alpha} \text{TDB} + \psi_i^{\alpha}) \right] \quad (2.5)$$

où TDB est le Temps dynamique barycentrique exprimé en siècles juliens de 36 525 jours écoulés depuis l'époque J2000. Les coefficients A_i^{α} sont exprimés en microsecondes (μs) (en toute rigueur μs pour $\alpha = 0$, $\mu\text{s}/\text{siècle}$ pour $\alpha = 1$, etc.). La table 3.3 contient tous les termes dont l'amplitude est supérieure à 0.1 nanoseconde (ns) sur une durée d'un siècle. Elle assure une précision de 1 ns sur la transformation $\text{TCB} \Leftrightarrow \text{TCG}$. Elle contient 474 termes périodiques ($\alpha=0$), 81 termes en $t \sin t$ ($\alpha=1$), 6 termes en $t^2 \sin t$ ($\alpha=2$) et un terme en $t^3 \sin t$ ($\alpha=3$). Notons que le deuxième terme de la série en $t^2 \sin t$ a une fréquence nulle et est donc, en réalité, un terme en t^2 .

2.7.2. Les échelles TT et TDB

L'échelle de *Temps terrestre* (TT) est l'échelle de temps utilisée pour les éphémérides géocentriques apparentes. Le TCG est une échelle de temps-coordonnée rattachée au géocentre, sans lien ni théorique ni pratique avec le TAI. Pour pallier ce défaut, on a souhaité définir une échelle idéale très proche du temps propre sur le géoïde et donc réalisable par des horloges locales. Son unité devait être la seconde SI sur le géoïde et l'échelle devait être en continuité avec le TE. À la date du 1 janvier 1977 à 0 h TAI, TT a pour valeur 1 janvier 1977, 0 h 0 min 32,184 s. L'échelle TT est une échelle de temps idéale dont la réalisation pratique est liée au TAI. On peut donc écrire :

$$\text{TT} = \text{TE} = \text{TAI} + 32,184 \text{ s.}$$

Entre 1976 et 1991, l'échelle TT avait été introduite sous le nom de *Temps dynamique terrestre* (TDT). Le mot *dynamique* n'était pas heureux, car cette échelle, tout en étant idéalement identique au Temps des éphémérides, n'est en aucun cas associée à la théorie du mouvement d'un corps du système solaire. Ce n'est donc pas un temps dynamique. Par ailleurs on avait tendance à confondre le TDT avec le temps propre au centre de masse de la Terre, alors qu'il est beaucoup plus proche d'un temps propre à la surface de la Terre. En revanche le temps-coordonnée TCG, peut être considéré comme étant le temps propre d'une horloge idéale placée au centre de masse de la Terre.

La différence entre les deux échelles est pour l'essentiel due au potentiel terrestre à sa surface (potentiel pris nul au centre de masse de la Terre). On peut écrire,

$$\frac{d\text{TT}}{d\text{TCG}} = 1 - L_G \approx 1 - \frac{W_0}{c^2}$$

où W_0 est le potentiel gravitationnel de la Terre à sa surface. Avec $L_G \sim W_0/c^2 \sim GM_{\oplus}/R_{\oplus}c^2 = 6,95 \times 10^{-10}$. Pour exprimer la relation complète entre TT et TCG il faut prendre également en compte le potentiel du géoïde tournant, ainsi que les potentiels de marées des autres corps du système solaire. La valeur du potentiel terrestre à sa surface est une quantité qui dépend des

modèles de géoïde et est sujette à révision. Pour éviter des changements possibles provenant de nouvelles réalisations du géoïde, l'UAI a introduit en 2000 (UAI, 2001),

$$L_G = 6,969\,290\,134 \times 10^{-10}$$

comme nouvelle constante de définition. L'échelle TT ainsi définie n'a pas de dérive par rapport au TAI qui en est une réalisation pratique.

Comme on l'a vu dans le paragraphe 2.7.1, le TCB varie par rapport au TCG, et également par rapport au TT puisque les constantes L_C et L_G ne se compensent pas. On définit alors l'échelle TDB, proche du TCB, qui ne diffère du TT que par des termes périodiques, ces termes étant précisément ceux trouvés dans la relation TCB-TCG. C'est l'échelle de temps employée à l'heure actuelle pour les éphémérides du système solaire de l'IMCCE/Bureau des Longitudes (Moisson et Bretagnon, 2001 ; Fienga et Simon, 2004). Pour les éphémérides numériques du JPL, on se reportera à Standish (1998). Vis à vis du TCB cette échelle se comporte en moyenne comme TT. On a,

$$dTDB/dTCB = 1 - L_B$$

où L_B a, depuis la résolution B3 de l'UAI en 2006, le statut de constante de définition (UAI, 2006)

$$L_B = 1,550\,519\,768 \times 10^{-8}$$

et

$$TDB = TCB - L_B(JD_{TCB} - 2\,443\,144,5003725) \times 86\,400 + TDB_0$$

où $TDB_0 = -6,55 \times 10^{-5}$ s est une nouvelle constante de définition introduite pour maintenir la continuité avec les formules en usage.

Avec cette définition on conserve,

$$TDB = TT + P$$

où P représente l'ensemble des termes périodiques obtenus à partir de l'intégrale (2.4) dépouillée de ses termes séculaires. On doit noter la relation théorique $L_B = L_C + L_G - L_C \times L_G$ qui a servi pour déterminer la valeur de L_B à partir de L_G et de la valeur de référence de L_C .

2.7.3. Relations entre les échelles de temps

Les différentes échelles de temps étudiées ci-dessus sont finalement liées par des relations simples rassemblées dans cette section. Dans la suite P désigne toujours l'ensemble des termes de moyenne nulle de l'intégrale (2.4). Les deux échelles de temps-coordonnée sont TCB pour le temps barycentrique et TCG pour le système géocentrique.

$$TCB - TCG = L_C \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 + P + \mathbf{v}_E \cdot \mathbf{r}/c^2, \quad L_C = 1,480\,826\,867\,41 \times 10^{-8}$$

où \mathbf{v}_E est la vitesse barycentrique de la Terre et \mathbf{r} la position géocentrique de l'observateur. JD est la date julienne de l'époque considérée. On calcule facilement qu'à la surface de la Terre le terme correctif correspondant dans l'expression de $TCB - TCG$ est de l'ordre de 2×10^{-6} secondes.

$$\begin{aligned} TCB - TDB &= L_B \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 - TDB_0 ; \\ & \qquad \qquad \qquad TDB_0 = -6,55 \times 10^{-5} \text{ s} ; \quad L_B = 1,550\,519\,768 \times 10^{-8} \\ TCG - TT &= L_G \times (JD - 2\,443\,144,5) \times 86\,400 ; \quad L_G = 6,969\,290\,134 \times 10^{-10} \\ TT(\text{TAI}) &= \text{TAI} + 32,184 \text{ s} \\ TDB &= TT + P \end{aligned}$$

2.8. BIBLIOGRAPHIE

- Brumberg, V.A. : 1991, *Essential relativistic celestial mechanics*, Adam Hilger, Bristol, Philadelphia and New-York.
- Danjon, A. : 1953, *Astronomie générale*, Sennac éd., Paris, réédité en 1980, Blanchard éd.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB-TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Fienga, A., Simon, J.-L. : 2004, Analytical and numerical studies of asteroid perturbations on solar system planet dynamics, *Astron. Astrophys.* **429**, 361.
- Guinot, B. : 1989, General principles of the measure of time : astronomical time, in *Reference frames in astronomy and geophysics*, J. Kovalevsky, I.I. Mueller and B. Kolaczek eds., Kluwer, Dordrecht.
- IAUWG : 1977, Joint report of the working group of IAU commission 4 on precession, planetary ephemerides, units and time scales, *Trans. IAU*, **XVI B**, Reidel, Dordrecht, 56.
- IAUWG : 1992, Recommendations from the working group on reference systems. Resolution A4, *Trans. IAU*, **XXI B**, Reidel, Dordrecht.
- Irwin, A., Fukushima, T. : 1999 A numerical time ephemeris for the Earth, *Astron. Astrophys.* **348**, 642.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Seidelmann, P.K., Fukushima, T. : 1992, Why new time scales ?, *Astron. Astrophys.* **265**, 833.
- Soffel, M.H. : 1989, Relativity in astrometry, *Celestial mechanics and geodesy*, Springer-Verlag.
- Standish, E. M. : 1998, Time scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28-40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **98**.
- USNO : 1992, *Explanatory supplement to the Astronomical Almanac*, P.K. Seidelmann ed., University science books, Mill Valley, California.

Table 2.3. Différence $P = \text{TDB} - \text{TT}$ sous la forme (2.5), d'après Fairhead et Bretagnon (1990). Dans (2.5), TDB est compté en siècles juliens à partir de J2000.

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	0	1656.674564	628.3075850	6.2400542	1.00	49	0	0.040184	-0.7113547	3.5659756	883.27
2	0	22.417471	575.3384885	4.2969774	1.09	50	0	0.036955	315.4687085	5.0718014	1.99
3	0	13.839792	1256.6151700	6.1969044	0.50	51	0	0.036564	508.8628840	3.3246790	1.23
4	0	4.770086	52.9690965	0.4444016	11.86	52	0	0.036507	80.1820931	6.2488660	7.84
5	0	4.676740	606.9776755	4.0211951	1.04	53	0	0.034867	52.2577418	5.2100641	12.02
6	0	2.256707	21.3299095	5.5431133	29.46	54	0	0.033529	943.7762935	2.4047142	0.67
7	0	1.694205	-0.3523118	5.0251327	1783.42	55	0	0.033477	606.2663208	4.1449873	1.04
8	0	1.554905	7771.3771468	5.1984666	0.08	56	0	0.032438	607.6890302	0.7493174	1.03
9	0	1.276839	786.0419392	5.9888223	0.80	57	0	0.032423	882.7390270	5.5414736	0.71
10	0	1.193379	522.3693920	3.6498237	1.20	58	0	0.030215	708.4896781	3.3896103	0.89
11	0	1.115322	393.0209696	1.4227451	1.60	59	0	0.029862	1213.9553509	1.7701810	0.52
12	0	0.794185	1150.6769770	2.3223131	0.55	60	0	0.029247	-7143.0695618	4.1831792	0.09
13	0	0.600309	157.7343542	2.6782719	3.98	61	0	0.028244	-628.6598968	5.0696635	1.00
14	0	0.496817	620.8294251	5.6967018	1.01	62	0	0.027567	627.9552732	5.0408460	1.00
15	0	0.486306	588.4926847	0.5200072	1.07	63	0	0.025196	174.8016413	2.9018833	3.59
16	0	0.468597	624.4942814	5.8663988	1.01	64	0	0.024816	-119.4447010	1.0871369	5.26
17	0	0.447061	2.6298320	3.6157965	238.92	65	0	0.022567	613.3512653	3.3079848	1.02
18	0	0.435206	-39.8149003	4.3493383	15.78	66	0	0.022509	1044.7387840	1.4607262	0.60
19	0	0.432392	7.4781599	2.4358983	84.02	67	0	0.021691	1414.3495242	5.9526580	0.44
20	0	0.375510	550.7553239	4.1034768	1.14	68	0	0.020937	842.9241266	0.6523034	0.75
21	0	0.243085	-77.5522611	3.6518379	8.10	69	0	0.020322	41.9484644	3.7354306	14.98
22	0	0.230685	585.6477659	4.7738526	1.07	70	0	0.017806	7.3297126	3.4759751	85.72
23	0	0.203747	1203.6460735	4.3339878	0.52	71	0	0.017673	681.2766815	3.1861298	0.92
24	0	0.173435	1884.9227550	6.1537435	0.33	72	0	0.016155	1021.3285546	1.3311032	0.62
25	0	0.159080	1097.7078805	1.8900752	0.57	73	0	0.015974	-235.2866154	6.1453094	2.67
26	0	0.143935	-79.6298007	5.9575178	7.89	74	0	0.015949	-22.0412642	4.0052983	28.51
27	0	0.137927	1179.0629089	1.1359347	0.53	75	0	0.015078	1965.1048481	3.9694808	0.32
28	0	0.119979	3.8133036	4.5515858	164.77	76	0	0.014751	134.9867410	4.3089333	4.65
29	0	0.118971	548.6777843	1.9145472	1.15	77	0	0.014318	1673.0463690	3.0160581	0.38
30	0	0.116120	105.9381930	0.8735041	5.93	78	0	0.014223	1778.9845620	2.1045513	0.35
31	0	0.101868	-557.3142802	5.9845034	1.13	79	0	0.013671	-53.6804512	5.9716726	11.70
32	0	0.098358	254.4314420	0.0927939	2.47	80	0	0.012462	10.3092774	1.7374388	60.95
33	0	0.080164	20.6185548	2.0953777	30.47	81	0	0.012420	469.0479836	4.7340904	1.34
34	0	0.079645	469.4002955	2.9492336	1.34	82	0	0.011942	803.1092263	2.0534147	0.78
35	0	0.075019	294.2463423	4.9809318	2.14	83	0	0.011847	564.3178564	5.4890054	1.11
36	0	0.064397	574.6271338	1.2803087	1.09	84	0	0.011707	-470.5732308	2.6541256	1.34
37	0	0.063814	576.0498432	4.1679017	1.09	85	0	0.011622	512.0601146	4.8639319	1.23
38	0	0.062617	2.0775395	2.6543948	302.43	86	0	0.010962	0.3590429	2.1965677	1749.98
39	0	0.058844	42.6598191	4.8396501	14.73	87	0	0.010825	55.3569403	0.8427150	11.35
40	0	0.054139	1726.0154655	3.4110911	0.36	88	0	0.010453	586.3591206	1.9137046	1.07
41	0	0.048373	15.5420399	2.2515737	40.43	89	0	0.010396	95.1718406	5.7177996	6.60
42	0	0.048042	214.6165416	1.4958460	2.93	90	0	0.010099	28.3859319	1.9421770	22.13
43	0	0.046551	-0.0980321	0.9215735	6409.31	91	0	0.009963	14.9563197	4.8706906	42.01
44	0	0.042732	63.2783739	5.7206222	9.93	92	0	0.009858	630.9374170	1.0618164	1.00
45	0	0.042560	16100.0685737	1.2708372	0.04	93	0	0.009370	14985.4400134	0.6738790	0.04
46	0	0.042411	627.5962303	2.8695670	1.00	94	0	0.008666	-13.5065080	3.2934065	46.52
47	0	0.040759	1235.2852605	3.8914970	0.51	95	0	0.008610	334.0612427	3.6616989	1.88
48	0	0.040480	1572.0838785	2.5466101	0.40	96	0	0.008323	1176.9853693	1.2293920	0.53

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
97	0	0.008 107	1336.797 2631	3.793 2353	0.47	145	0	0.002 954	-628.300 8540	4.533 4712	1.00
98	0	0.007 959	31.639 1870	2.465 0426	19.86	146	0	0.002 954	628.314 3160	4.447 2038	1.00
99	0	0.007 857	1216.800 2697	0.525 7335	0.52	147	0	0.002 881	73.587 6514	0.349 2503	8.54
100	0	0.007 505	523.080 7467	4.920 9370	1.20	148	0	0.002 872	2.844 9187	1.158 6930	220.86
101	0	0.007 490	-625.677 7530	3.658 4447	1.00	149	0	0.002 863	1729.818 2327	5.240 9638	0.36
102	0	0.007 332	3.664 8563	0.114 8587	171.44	150	0	0.002 775	991.769 6875	1.030 0263	0.63
103	0	0.007 147	-24.272 8604	3.661 4870	25.89	151	0	0.002 740	1831.953 6585	4.320 5195	0.34
104	0	0.007 117	3.802 7673	5.294 2495	165.23	152	0	0.002 646	1097.355 5686	3.918 2592	0.57
105	0	0.007 019	620.680 9779	0.837 6888	1.01	153	0	0.002 575	2513.230 3400	6.109 6590	0.25
106	0	0.006 919	668.122 4853	6.018 5015	0.94	154	0	0.002 493	638.616 8624	0.645 0265	0.98
107	0	0.006 858	521.658 0373	0.642 0633	1.20	155	0	0.002 464	20.225 3395	4.698 2031	31.07
108	0	0.006 826	763.294 3260	3.458 6541	0.82	156	0	0.002 409	0.254 2797	5.325 0093	2470.97
109	0	0.006 731	565.029 2111	5.639 9066	1.11	157	0	0.002 401	1620.077 2725	2.605 5471	0.39
110	0	0.006 603	2358.125 8177	5.393 1369	0.27	158	0	0.002 397	624.345 8342	3.809 2900	1.01
111	0	0.006 366	416.431 1990	2.262 0818	1.51	159	0	0.002 381	6.373 5898	0.759 1882	98.58
112	0	0.006 304	1192.625 4414	2.512 9292	0.53	160	0	0.002 366	0.393 2153	6.215 8854	1597.90
113	0	0.006 056	95.559 9742	4.194 5351	6.58	161	0	0.002 353	63.989 7286	3.734 5481	9.82
114	0	0.005 680	2301.353 9540	4.557 8148	0.27	162	0	0.002 353	624.642 7287	4.781 7198	1.01
115	0	0.005 582	596.668 3980	2.246 1743	1.05	163	0	0.002 303	1807.370 4939	1.089 1004	0.35
116	0	0.005 488	-0.345 5808	0.090 6754	1818.15	164	0	0.002 303	8399.684 7318	2.013 6864	0.07
117	0	0.005 308	-159.259 6014	2.500 3824	3.95	165	0	0.002 296	649.637 4945	5.061 8107	0.97
118	0	0.005 123	-0.148 4473	2.999 6410	4232.60	166	0	0.002 229	49.155 7929	1.571 0071	12.78
119	0	0.005 119	643.849 6249	1.486 5392	0.98	167	0	0.002 199	-24.583 1646	5.956 1523	25.56
120	0	0.005 096	1137.170 4690	2.547 1078	0.55	168	0	0.002 186	45.490 9367	1.402 1015	13.81
121	0	0.004 892	543.699 3015	1.475 4156	1.16	169	0	0.002 183	116.247 4704	6.179 6117	5.41
122	0	0.004 841	533.390 0241	0.437 0781	1.18	170	0	0.002 169	1101.510 6477	4.845 2977	0.57
123	0	0.004 648	158.907 2895	1.275 8471	3.95	171	0	0.002 103	-707.937 3857	5.756 6416	0.89
124	0	0.004 553	1149.965 6223	5.554 9983	0.55	172	0	0.002 085	3.516 4090	1.405 1585	178.68
125	0	0.004 521	429.233 0833	6.140 6358	1.46	173	0	0.002 024	1471.231 7116	2.752 0359	0.43
126	0	0.004 349	1151.388 3317	2.181 7454	0.55	174	0	0.001 897	2248.384 8574	4.167 9325	0.28
127	0	0.004 193	723.479 4256	4.869 0914	0.87	175	0	0.001 896	-312.838 8765	4.914 2316	2.01
128	0	0.004 164	1249.137 0101	5.650 9319	0.50	176	0	0.001 894	105.226 8383	5.817 1674	5.97
129	0	0.004 148	-11.020 6321	3.016 1734	57.01	177	0	0.001 847	1087.398 6030	2.903 4779	0.58
130	0	0.004 080	-705.859 8461	3.690 3601	0.89	178	0	0.001 825	-373.876 1430	0.545 8288	1.68
131	0	0.004 044	473.203 0627	1.398 7848	1.33	179	0	0.001 810	-8886.005 7071	0.487 3548	0.07
132	0	0.003 919	1252.801 8664	5.823 3197	0.50	180	0	0.001 745	24428.760 0007	3.626 3952	0.03
133	0	0.003 742	723.867 5592	4.691 9762	0.87	181	0	0.001 737	629.018 9397	5.280 8201	1.00
134	0	0.003 625	620.977 8724	1.473 7606	1.01	182	0	0.001 729	389.418 1830	1.264 9766	1.61
135	0	0.003 500	26.308 3923	1.892 1007	23.88	183	0	0.001 649	3144.167 7570	1.952 0493	0.20
136	0	0.003 354	-9095.555 1695	1.942 6562	0.07	184	0	0.001 602	1431.416 8113	4.203 6648	0.44
137	0	0.003 279	584.936 4112	4.893 3844	1.07	185	0	0.001 472	459.091 0180	4.164 9133	1.37
138	0	0.003 270	7.626 6071	1.517 1899	82.39	186	0	0.001 421	2.035 5319	2.419 8866	308.68
139	0	0.003 202	2751.146 7874	0.531 6731	0.23	187	0	0.001 416	922.553 9273	4.996 4084	0.68
140	0	0.003 129	683.664 5253	0.003 8441	0.92	188	0	0.001 408	1098.419 2352	2.732 0848	0.57
141	0	0.003 074	94.917 5609	5.185 8787	6.62	189	0	0.001 391	-863.594 2004	0.593 8915	0.73
142	0	0.003 053	23314.131 4403	3.029 0293	0.03	190	0	0.001 388	-0.704 6237	1.166 1459	891.71
143	0	0.003 024	8328.691 4270	2.355 5561	0.08	191	0	0.001 376	1096.996 5258	5.152 9143	0.57
144	0	0.003 002	617.286 9529	2.797 8228	1.02	192	0	0.001 335	-26.660 7042	3.995 7640	23.57

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μ s)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
193	0	0.001321	1820.9330264	2.6248664	0.35	241	0	0.000674	1494.5316174	6.2705105	0.42
194	0	0.001297	2122.8392024	0.3826035	0.30	242	0	0.000673	106.6495477	3.8765124	5.89
195	0	0.001297	2354.3230505	3.0638052	0.27	243	0	0.000662	2515.8601720	1.7940584	0.25
196	0	0.001288	-199.0745017	3.9130229	3.16	244	0	0.000660	62.5670192	5.8640919	10.04
197	0	0.001284	1057.5406683	5.3065382	0.59	245	0	0.000647	1185.6218652	3.3971331	0.53
198	0	0.001278	7.1812653	4.7134865	87.49	246	0	0.000646	1140.3676996	3.8529595	0.55
199	0	0.001238	480.4209276	5.5033797	1.31	247	0	0.000641	8346.7156353	3.2107273	0.08
200	0	0.001176	27.7034994	3.3355190	22.68	248	0	0.000631	576.7611979	4.0265323	1.09
201	0	0.001169	604.0347246	5.8417190	1.04	249	0	0.000630	3.6027867	0.1563685	174.40
202	0	0.001155	-1.4227094	3.0427008	441.64	250	0	0.000618	2200.3914635	2.4664270	0.29
203	0	0.001145	605.8731054	1.1694839	1.04	251	0	0.000611	-14357.1324284	2.4249797	0.04
204	0	0.001077	17.5166060	1.8449131	35.87	252	0	0.000609	1017.7257680	0.4371223	0.62
205	0	0.001070	-15471.7609887	1.8276245	0.04	253	0	0.000607	-3.9617508	2.8390216	158.60
206	0	0.001039	554.0085789	2.7697535	1.13	254	0	0.000603	-6514.7619768	4.1400836	0.10
207	0	0.001004	-17.0672871	0.7550081	36.81	255	0	0.000601	41.2371097	3.9842254	15.24
208	0	0.000991	470.1116502	4.3870018	1.34	256	0	0.000576	1108.7285126	4.7602931	0.57
209	0	0.000987	-626.2300454	2.6564870	1.00	257	0	0.000575	1204.3574282	4.2164924	0.52
210	0	0.000979	554.7199336	5.4483760	1.13	258	0	0.000574	7214.0628666	1.7581909	0.09
211	0	0.000954	628.2095529	0.8822135	1.00	259	0	0.000567	363.4621025	1.6492647	1.73
212	0	0.000954	-628.4056171	0.9684809	1.00	260	0	0.000559	1119.0377900	5.7832364	0.56
213	0	0.000940	603.7244204	6.1974281	1.04	261	0	0.000553	1241.6588503	4.7721580	0.51
214	0	0.000908	13.1541962	2.5212575	47.77	262	0	0.000550	490.7302050	0.8640243	1.28
215	0	0.000907	3537.1887266	3.3701960	0.18	263	0	0.000531	648.9261398	1.6818888	0.97
216	0	0.000890	1391.6019110	5.6014983	0.45	264	0	0.000520	3930.2096962	4.7880029	0.16
217	0	0.000885	1171.2955318	3.2804149	0.54	265	0	0.000520	1034.4295065	4.4455978	0.61
218	0	0.000884	-155.1045223	1.0888317	4.05	266	0	0.000515	1863.5928455	3.9453459	0.34
219	0	0.000876	501.7508371	3.9699026	1.25	267	0	0.000509	84.6082835	3.0538746	7.43
220	0	0.000852	19.9072001	2.1896050	31.56	268	0	0.000495	734.2457780	3.8172858	0.86
221	0	0.000845	-43.3711738	4.7492452	14.49	269	0	0.000494	962.3688277	3.0226451	0.65
222	0	0.000819	866.2240324	5.9912478	0.73	270	0	0.000493	1842.2629359	1.6769393	0.34
223	0	0.000814	1765.4780540	4.6271226	0.36	271	0	0.000491	22.4344796	0.8783728	28.01
224	0	0.000806	1511.0466120	5.1428767	0.42	272	0	0.000486	-32.3505417	4.0616739	19.42
225	0	0.000806	30.9278323	6.0540644	20.32	273	0	0.000485	670.2560494	0.2105809	0.94
226	0	0.000798	14.8078724	5.9092251	42.43	274	0	0.000484	1726.7268202	3.2905891	0.36
227	0	0.000798	51.5463871	5.1519625	12.19	275	0	0.000481	574.9452732	4.3095920	1.09
228	0	0.000773	-413.6910434	0.0220678	1.52	276	0	0.000480	595.9570433	5.0313510	1.05
229	0	0.000764	-612.7655451	2.2363463	1.03	277	0	0.000480	575.7317038	1.1423486	1.09
230	0	0.000738	613.4997126	2.2426689	1.02	278	0	0.000478	126.5567479	5.4873146	4.96
231	0	0.000737	532.6786694	4.9238316	1.18	279	0	0.000472	-1256.9674818	5.1121333	0.50
232	0	0.000732	237.9164474	2.5018134	2.64	280	0	0.000472	-1.8159247	1.9997076	346.00
233	0	0.000726	542.9879468	6.0396069	1.16	281	0	0.000470	1202.9347188	1.4056112	0.52
234	0	0.000723	1725.6631536	6.0687196	0.36	282	0	0.000466	1256.2628582	4.9595816	0.50
235	0	0.000710	2876.6924424	5.6726177	0.22	283	0	0.000465	1725.3041108	0.3534963	0.36
236	0	0.000706	1255.9038153	8.2848489	0.50	284	0	0.000463	573.9157791	1.4112230	1.09
237	0	0.000704	1352.1751442	2.3009913	0.46	285	0	0.000461	617.9983076	0.5136693	1.02
238	0	0.000694	349.6032826	2.6683091	1.80	286	0	0.000458	1213.2439962	1.8801038	0.52
239	0	0.000689	468.6889408	6.2242711	1.34	287	0	0.000449	1160.9862544	4.1799896	0.54
240	0	0.000678	-548.1254919	6.2496667	1.15	288	0	0.000432	1685.8482533	1.1792564	0.37

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
289	0	0.000432	2042.6571092	6.0038292	0.31	337	0	0.000268	-22685.8238553	0.0694338	0.03
290	0	0.000430	1351.7870106	0.6858275	0.46	338	0	0.000268	614.8010770	5.1526663	1.02
291	0	0.000426	605.5549661	4.2744765	1.04	339	0	0.000267	1044.0274293	4.7301085	0.60
292	0	0.000416	-747.7522860	1.0823563	0.84	340	0	0.000265	16728.3761587	4.3693024	0.04
293	0	0.000399	1.4977854	2.0944419	419.50	341	0	0.000264	6656.7485864	4.6011012	0.09
294	0	0.000389	1.7252277	1.3957532	364.19	342	0	0.000264	1887.5525870	1.4172634	0.33
295	0	0.000387	1045.4501387	2.5411826	0.60	343	0	0.000262	83.8969288	1.3277203	7.49
296	0	0.000384	1193.3367961	5.8277815	0.53	344	0	0.000260	81.3550284	2.3894389	7.72
297	0	0.000383	2195.4157609	3.7473764	0.29	345	0	0.000256	-364.6350377	0.5063648	1.72
298	0	0.000374	1799.6031168	3.3887165	0.35	346	0	0.000250	1649.6361396	0.8987698	0.38
299	0	0.000368	-575.6908003	0.7313743	1.09	347	0	0.000240	1248.9885629	5.6845490	0.50
300	0	0.000363	-64.0877607	5.0718210	9.80	348	0	0.000236	211.8763860	1.7335788	2.97
301	0	0.000362	2908.8811416	3.2159770	0.22	349	0	0.000234	586.7523359	5.5752091	1.07
302	0	0.000362	-453.5059437	1.5838496	1.39	350	0	0.000234	511.3487599	1.7160907	1.23
303	0	0.000352	574.9861767	3.0002980	1.09	351	0	0.000228	3301.9021112	4.6569855	0.19
304	0	0.000342	613.2028180	4.3222386	1.02	352	0	0.000227	628.7008003	2.9118916	1.00
305	0	0.000341	1214.6667056	4.7006580	0.52	353	0	0.000225	1646.0333530	2.5964518	0.38
306	0	0.000338	606.5844601	0.8777761	1.04	354	0	0.000223	1980.0945956	3.0693274	0.32
307	0	0.000336	-238.8894020	5.3537960	2.63	355	0	0.000222	590.5702242	3.7319903	1.06
308	0	0.000332	2019.9094960	1.6529014	0.31	356	0	0.000222	1182.3161639	1.9423866	0.53
309	0	0.000331	1805.2929543	0.5667906	0.35	357	0	0.000220	-13.5625325	1.7654303	46.33
310	0	0.000331	607.3708908	4.0078812	1.03	358	0	0.000216	630.3851245	3.8629423	1.00
311	0	0.000330	1055.7594161	3.7100437	0.60	359	0	0.000211	575.6566279	3.7893928	1.09
312	0	0.000329	626.8848756	3.0338277	1.00	360	0	0.000209	-1098.8808158	2.6361401	0.57
313	0	0.000325	1567.1081759	2.1788505	0.40	361	0	0.000209	575.0203491	1.6619435	1.09
314	0	0.000325	2059.7243963	0.1800444	0.31	362	0	0.000208	-22.7526189	4.1278838	27.62
315	0	0.000323	1259.2450020	1.0722628	0.50	363	0	0.000206	7.0328180	5.9340761	89.34
316	0	0.000318	70.9933048	5.9412071	8.85	364	0	0.000205	-627.9485421	1.8293627	1.00
317	0	0.000318	13.8517497	2.2532530	45.36	365	0	0.000205	628.6666279	1.7428823	1.00
318	0	0.000311	691.5859589	1.6935742	0.91	366	0	0.000204	22.7476133	5.6361927	27.62
319	0	0.000305	938.8005909	0.5783402	0.67	367	0	0.000203	158.1959348	5.5498536	3.97
320	0	0.000304	-182.3175189	3.4090352	3.45	368	0	0.000200	564.2198243	1.0161158	1.11
321	0	0.000301	10.9945689	0.5109221	57.15	369	0	0.000200	680.5653268	0.8682210	0.92
322	0	0.000301	4323.2306658	6.2053112	0.15	370	0	0.000198	2593.4124331	3.8327031	0.24
323	0	0.000301	608.0822455	2.1353962	1.03	371	0	0.000197	-7.0849445	4.6907025	88.68
324	0	0.000299	31642.8228673	5.3845937	0.02	372	0	0.000197	53.3623118	1.0489829	11.77
325	0	0.000297	2407.2921470	1.9972494	0.26	373	0	0.000195	406.1219215	3.3084634	1.55
326	0	0.000294	-37.7373608	3.7087842	16.65	374	0	0.000191	1066.0686935	5.4055160	0.59
327	0	0.000292	74.2990061	2.7143336	8.46	375	0	0.000191	41.5552491	4.4011656	15.12
328	0	0.000292	1234.5739058	4.0960941	0.51	376	0	0.000191	614.4558353	5.0203934	1.02
329	0	0.000290	977.9108676	1.8123204	0.64	377	0	0.000190	2929.6615390	4.1756585	0.21
330	0	0.000290	309.7883823	4.0752916	2.03	378	0	0.000189	523.7921014	5.2453130	1.20
331	0	0.000285	-53.3214083	4.6873132	11.78	379	0	0.000189	15.3778810	4.8123726	40.86
332	0	0.000284	563.6065017	5.6553858	1.11	380	0	0.000188	1311.9721103	2.0321958	0.48
333	0	0.000280	1235.9966152	0.7108725	0.51	381	0	0.000188	147.8866574	5.6868658	4.25
334	0	0.000280	2823.7233459	5.3048291	0.22	382	0	0.000187	4716.2516355	1.3543719	0.13
335	0	0.000276	2.4298514	0.7702994	258.58	383	0	0.000187	1191.9140867	2.6294566	0.53
336	0	0.000271	1309.5842665	3.2089122	0.48	384	0	0.000185	-20.9366942	4.6947566	30.01

Table 2.3. (suite).

i	α	A_i^α	ν_i^α	ψ_i^α	Période	i	α	A_i^α	ν_i^α	ψ_i^α	Période
		(μ s)	(rad/siècle)	(rad)	(années)			(μ s)	(rad/siècle)	(rad)	(années)
385	0	0.000184	-493.3208440	3.3274769	1.27	430	0	0.000131	621.1263197	0.0850770	1.01
386	0	0.000181	1077.0893256	1.9994821	0.58	431	0	0.000130	-588.8449965	4.5276811	1.07
387	0	0.000180	608.4003849	0.6021822	1.03	432	0	0.000130	1129.3470674	0.9390394	0.56
388	0	0.000180	-34.8924420	2.4909021	18.01	433	0	0.000129	169.2165670	0.3514073	3.71
389	0	0.000175	512.7714693	4.7284433	1.23	434	0	0.000129	-8.5827299	2.5406351	73.21
390	0	0.000171	654.6159773	1.1828080	0.96	435	0	0.000128	938.0959673	3.2238443	0.67
391	0	0.000169	2099.5392966	2.1690806	0.30	436	0	0.000128	-652.5804454	3.8034200	0.96
392	0	0.000168	1672.3350143	0.0278606	0.38	437	0	0.000126	565.7405658	5.1465923	1.11
393	0	0.000167	14.6594252	0.7599691	42.86	438	0	0.000126	588.1403728	5.5775025	1.07
394	0	0.000166	2314.1558383	3.4541327	0.27	439	0	0.000126	1130.0584221	3.4852807	0.56
395	0	0.000165	-766.8637425	4.2982121	0.82	440	0	0.000123	1940.2796953	4.5380744	0.32
396	0	0.000163	1778.2732073	4.9605931	0.35	441	0	0.000123	210.7034508	1.7286273	2.98
397	0	0.000162	968.3594581	5.7200924	0.65	442	0	0.000123	606.6595361	4.5170995	1.04
398	0	0.000162	625.4626663	1.4351321	1.00	443	0	0.000121	3694.9230808	6.0723321	0.17
399	0	0.000161	12.7471797	2.8625747	49.29	444	0	0.000121	13.7033024	4.5391082	45.85
400	0	0.000159	1673.7577237	3.6006915	0.38	445	0	0.000121	-54.3918059	6.1094295	11.55
401	0	0.000158	16309.6180361	2.9571285	0.04	446	0	0.000120	5.2596640	0.9485163	119.46
402	0	0.000157	619.7248551	1.2843759	1.01	447	0	0.000119	1002.7903196	3.2174312	0.63
403	0	0.000154	9.5979227	3.3668906	65.46	448	0	0.000119	632.1208886	2.5474963	0.99
404	0	0.000152	-572.9506447	0.7341175	1.10	449	0	0.000119	2280.5735566	2.8690406	0.28
405	0	0.000151	427.4518311	4.4043591	1.47	450	0	0.000118	2274.3409380	4.8811231	0.28
406	0	0.000151	1662.7370915	3.9857021	0.38	451	0	0.000117	607.2958148	0.3663246	1.03
407	0	0.000149	1172.0068865	0.6597219	0.54	452	0	0.000117	-624.5048177	5.3795190	1.01
408	0	0.000148	-641.8140930	3.3841050	0.98	453	0	0.000115	-52.5758812	5.8952222	11.95
409	0	0.000148	15.1047670	3.7991096	41.60	454	0	0.000115	6.5220371	3.5049148	96.34
410	0	0.000146	-417.6041342	4.6600085	1.50	455	0	0.000114	72.8762967	0.5207918	8.62
411	0	0.000146	1108.0171579	3.3696954	0.57	456	0	0.000113	5109.2726051	2.7914831	0.12
412	0	0.000146	-7.7750544	3.1215766	80.81	457	0	0.000113	-787.5671864	2.7257711	0.80
413	0	0.000146	579.2741761	0.7084266	1.08	458	0	0.000113	733.0728427	0.6563721	0.86
414	0	0.000146	448.7817406	4.8152970	1.40	459	0	0.000113	-627.7552926	2.7889041	1.00
415	0	0.000144	-66.4756045	5.3813669	9.45	460	0	0.000112	1609.7679950	3.5890263	0.39
416	0	0.000143	670.9674041	4.3176256	0.94	461	0	0.000109	417.1425537	4.0333381	1.51
417	0	0.000142	8378.3548222	2.9363147	0.07	462	0	0.000109	136.8660253	0.0147305	4.59
418	0	0.000141	621.9339952	0.6790687	1.01	463	0	0.000108	-1253.9853380	3.7161338	0.50
419	0	0.000140	1845.1078547	0.6420491	0.34	464	0	0.000107	1606.2184526	4.0665200	0.39
420	0	0.000139	2353.9707386	2.0281954	0.27	465	0	0.000107	534.1013788	0.2882319	1.18
421	0	0.000138	21.0117702	2.5642161	29.90	466	0	0.000106	562.1842923	1.8153233	1.12
422	0	0.000138	601.6468808	6.0961890	1.04	467	0	0.000104	-56.8821874	2.2057345	11.05
423	0	0.000138	628.1591377	2.7974503	1.00	468	0	0.000104	981.4604100	1.9599672	0.64
424	0	0.000138	197.5492546	2.3146085	3.18	469	0	0.000103	632.1103523	2.4404211	0.99
425	0	0.000135	620.5325306	1.6380540	1.01	470	0	0.000103	90.9818733	2.8127454	6.91
426	0	0.000134	1234.1806904	2.5985768	0.51	471	0	0.000101	624.7911760	3.4413470	1.01
427	0	0.000133	6447.1991241	6.0564041	0.10	472	0	0.000101	179.0642638	1.9657460	3.51
428	0	0.000133	-533.1357444	5.4097019	1.18	473	0	0.000101	269.9734819	5.4816032	2.33
429	0	0.000131	1361.3804277	4.0057329	0.46	474	0	0.000101	11.1430161	5.7110337	56.39

Table 2.3. (fn).

i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)	i	α	A_i^α (μs)	ν_i^α (rad/siècle)	ψ_i^α (rad)	Période (années)
1	1	10.215672	628.3075850	4.2490320	1.00	46	1	0.000305	564.3178564	1.3626344	1.11
2	1	0.170681	1256.6151700	4.2059042	0.50	47	1	0.000303	41.9484644	5.2864738	14.98
3	1	0.026967	21.3299095	3.4002905	29.46	48	1	0.000299	469.0479836	6.2358721	1.34
4	1	0.026592	52.9690965	5.8360474	11.86	49	1	0.000297	681.2766815	1.5830127	0.92
5	1	0.021057	-0.3523118	6.2627383	1783.42	50	1	0.000293	521.6580373	2.3199513	1.20
6	1	0.007800	522.3693920	4.6703442	1.20	51	1	0.000289	586.3591206	0.0951976	1.07
7	1	0.005915	2.6298320	1.0830447	238.92	52	1	0.000266	315.4687085	2.4874479	1.99
8	1	0.005476	157.7343542	4.5348002	3.98	53	1	0.000259	1235.2852605	1.9919358	0.51
9	1	0.003442	-39.8149003	5.9800774	15.78	54	1	0.000257	80.1820931	3.4256115	7.84
10	1	0.003359	550.7553239	5.9801623	1.14	55	1	0.000250	643.8496249	2.9947798	0.98
11	1	0.003209	1884.9227550	4.1629135	0.33	56	1	0.000244	1044.7387840	2.3471392	0.60
12	1	0.002920	585.6477659	0.6238119	1.07	57	1	0.000243	523.0807467	3.0847528	1.20
13	1	0.002776	15.5420399	3.7453181	40.43	58	1	0.000205	708.4896781	0.5263239	0.89
14	1	0.002519	574.6271338	2.9803305	1.09	59	1	0.000189	803.1092263	3.5690037	0.78
15	1	0.002498	576.0498432	2.4679137	1.09	60	1	0.000180	-7143.0695618	2.1922960	0.09
16	1	0.002300	-79.6298007	1.1744118	7.89	61	1	0.000178	0.3932153	5.1804337	1597.90
17	1	0.002177	20.6185548	3.8547875	30.47	62	1	0.000174	627.9552732	0.0874840	1.00
18	1	0.001792	-77.5522611	1.0920660	8.10	63	1	0.000174	584.9364112	0.4175584	1.07
19	1	0.001379	42.6598191	2.6998320	14.73	64	1	0.000170	-159.2596014	3.9970977	3.95
20	1	0.001328	606.2663208	5.8458019	1.04	65	1	0.000169	-470.5732308	4.6417792	1.34
21	1	0.001287	607.6890302	5.3334257	1.03	66	1	0.000168	3.8133036	4.1645294	164.77
22	1	0.001215	105.9381930	6.2228745	5.93	67	1	0.000164	842.9241266	2.1806196	0.75
23	1	0.001177	1203.6460735	2.2928321	0.52	68	1	0.000163	763.2943260	4.9684457	0.82
24	1	0.001108	-0.7113547	5.1547250	883.27	69	1	0.000146	429.2330833	1.3560981	1.46
25	1	0.001014	469.4002955	4.0440138	1.34	70	1	0.000144	1149.9656223	0.9743879	0.55
26	1	0.001008	52.2577418	0.7493203	12.02	71	1	0.000144	2.0355319	3.8954394	308.68
27	1	0.000936	548.6777843	3.4160814	1.15	72	1	0.000137	1414.3495242	3.9875766	0.44
28	1	0.000863	627.5962303	4.5620602	1.00	73	1	0.000136	1151.3883317	0.4955723	0.55
29	1	0.000859	1097.7078805	2.7771526	0.57	74	1	0.000134	723.4794256	0.0904543	0.87
30	1	0.000816	-22.0412642	5.8068915	28.51	75	1	0.000126	683.6645253	1.5090694	0.92
31	1	0.000775	254.4314420	1.6031971	2.47	76	1	0.000117	10.3092774	2.8384968	60.95
32	1	0.000767	214.6165416	3.0002004	2.93	77	1	0.000116	416.4311990	3.4083878	1.51
33	1	0.000710	7.4781599	0.4437258	84.02	78	1	0.000109	606.9776755	3.6179427	1.04
34	1	0.000618	-53.6804512	1.3026428	11.70	79	1	0.000101	-625.6777530	0.6618265	1.00
35	1	0.000609	174.8016413	4.4037652	3.59	80	1	0.000101	1778.9845620	0.2863502	0.35
36	1	0.000598	-119.4447010	2.5834726	5.26	81	1	0.000101	63.9897286	1.6107621	9.82
37	1	0.000582	508.8628840	4.8277235	1.23						
38	1	0.000526	55.3569403	2.3361073	11.35	1	2	0.043230	628.3075850	2.6428937	1.00
39	1	0.000494	-628.6598968	0.2683052	1.00	2	2	0.004065	0.0000000	4.7123890	
40	1	0.000477	134.9867410	5.8086367	4.65	3	2	0.001226	1256.6151700	2.4381406	0.50
41	1	0.000469	-24.2728604	5.1548906	25.89	4	2	0.000195	21.3299095	1.6421870	29.46
42	1	0.000423	95.1718406	0.9311722	6.60	5	2	0.000169	52.9690965	4.5109593	11.86
						6	2	0.000134	-0.3523118	1.5022103	1783.42
43	1	0.000340	-235.2866154	2.5521899	2.67						
44	1	0.000321	-0.7046237	1.8637965	891.71						
45	1	0.000306	943.7762935	4.2264206	0.67	1	3	0.000143	628.3075850	1.1314536	1.00

CHAPITRE 3

SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

A. FIENGA (3.1 & 3.3), V.A. BRUMBERG (3.2), F. ARIAS (3.4), Z. ALTAMIMI (3.5)
ET N. CAPITAINE (3.6)

3.1. INTRODUCTION AUX SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

L'étude des mouvements et des positions des astres nécessite la définition et la construction de systèmes de coordonnées spatiales et temporelles. Or le mouvement et la position ne sont pas des concepts absolus et ils ne peuvent être décrits que par rapport à une référence. Mathématiquement, on peut définir un système d'axes et de coordonnées devant respecter telles ou telles propriétés. Ce système d'axes défini par un concept mathématique est nommé *système de référence*. Physiquement, au cours d'une observation, il est beaucoup plus difficile de construire un système permettant l'estimation d'une position car les coordonnées des objets observés doivent être quantifiables aisément. Des objets physiques de référence (anciennement des étoiles brillantes, de nos jours des objets extragalactiques), observables dans les mêmes conditions que l'objet étudié, sont choisis pour matérialiser des directions et des axes de coordonnées. Une mesure de position revient alors à une mesure relative de distance entre l'objet étudié et les objets de référence. L'ensemble de ces objets de référence, les directions axiales définies par leur intermédiaire ainsi que leur origine constituent *un repère de référence*. Le critère de sélection des objets de référence donne ses caractéristiques au repère (rotationnel avec des étoiles brillantes, inertiel avec des objets extragalactiques). Nous verrons dans ce chapitre, comment il est possible de mettre en place des outils permettant d'établir des liens entre un système d'axes défini conceptuellement et des objets physiques observés par différentes techniques.

En mécanique newtonienne, le concept idéal permettant de décrire au mieux le mouvement est celui de *système de référence inertiel* pour les coordonnées spatiales et d'*échelle de temps uniforme* pour la coordonnée temporelle. Dans un système inertiel et pour une échelle de temps uniforme, l'accélération d'un point matériel est proportionnelle à la somme des forces newtoniennes exercées sur lui. Deux systèmes inertiels se déduisent l'un de l'autre par un mouvement de translation de vitesse constante et deux variables de temps uniforme se déduisent l'une de l'autre par une translation affine. Cependant, face aux améliorations permanentes des techniques d'observation, il n'est plus possible actuellement de développer des théories dynamiques purement newtoniennes. Il faut adopter une théorie relativiste de la gravitation et mettre en place de nouvelles solutions dynamiques dans un tel cadre, ou bien, en se plaçant dans la configuration des vitesses faibles et de champs faible, introduire des corrections relativistes. Or, dans le cadre de la relativité générale, il n'y a plus de véritable séparation entre les coordonnées spatiales et temporelle. Il devient alors nécessaire de définir de nouveaux concepts de systèmes de référence et d'échelles de temps. Dans le paragraphe 3.2, de tels systèmes et échelles de temps sont présentés et des relations entre les différents systèmes de référence sont établies.

Dans la pratique, l'observateur ou l'utilisateur d'éphémérides est essentiellement concerné par les repères de référence, matérialisations physiques des systèmes de références (voir paragraphe 3.3). Comme toute matérialisation physique, ces repères présentent des imperfections et les progrès des techniques d'observation et des théories de mécanique céleste nécessitent l'établissement de nouveaux repères de référence. Ainsi au paragraphe 3.3, sont présentés les divers repères et systèmes de référence conventionnels déduits des solutions analytiques et numériques du mouvement de la Terre, des planètes de notre système solaire et de la Lune. Au paragraphe 3.4, on présente le système de référence céleste international, l'ICRS et ses matérialisations physiques, notamment l'ICRF mis en place à partir d'observations VLBI d'objets très lointains (quasars) et ne présentant pas de mouvements propres à la précision des observations actuelles. L'ICRS est le premier système de référence ayant une matérialisation, l'ICRF, quasi inertielle. Dans le cas d'observations géodésiques ou géophysiques, on cherchera à modéliser des mouvements de points à la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. Un système de référence terrestre devra alors représenter au mieux la surface de la Terre et sera tel que la croûte terrestre ne doit avoir ni rotation ni translation d'ensemble. Le paragraphe 3.5 explique comment a été construit un tel système international, l'ITRS, et comment une matérialisation physique satisfaisante, l'ITRF, a été mise en place.

Enfin, lors d'observations d'objets célestes ou artificiels réalisées depuis le sol, il est nécessaire d'établir des liens entre le lieu d'observation et les coordonnées observées localement dans le système de référence terrestre et les coordonnées du même objet dans le système de référence céleste choisi pour décrire son mouvement. Le paragraphe 3.6 indique quelles sont les deux procédures existantes permettant le lien entre l'ICRS et l'ITRS.

3.2. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE RELATIVISTES

3.2.1. Historique des résolutions de l'Union Astronomique Internationale (UAI)

Les recommandations de l'UAI portant sur les systèmes de référence définis à partir de la *théorie de la relativité générale* (GRT) ont été formulées, pour la première fois, au cours d'intenses discussions lors du colloque 127 de l'UAI en 1990 (UAI, 1991). Un an plus tard, ces recommandations ont été approuvées par la vingt et unième assemblée générale de l'UAI, en 1991, sous la forme de la résolution A4 (UAI, 1992) ainsi que par l'Union Internationale de Géodésie et Géophysique par l'intermédiaire de sa recommandation 2 (IERS, 1992). Sur la base de ces deux résolutions, deux systèmes de référence, l'ICRS (International Celestial Reference System) et l'ITRS (International Terrestrial Reference System) peuvent être considérés comme des systèmes de référence relativistes à quatre dimensions reliés entre eux par une transformation relativiste à quatre dimensions (transformation de Lorentz généralisée) avec une rotation triaxiale complémentaire des axes de coordonnées spatiales. Les échelles de temps associées à l'ICRS et à l'ITRS sont le TCB (Temps coordonné barycentrique) et le TCG (Temps coordonné géocentrique), respectivement (*cf.* chapitre 2). Ces systèmes de référence sont réalisés physiquement par les repères de référence ICRF (International Celestial Reference Frame) et ITRF (International Terrestrial Reference Frame), respectivement. Ces repères sont maintenus par l'IERS (International Earth rotation and Reference systems Service). L'ICRF est matérialisé par un ensemble de quasars de référence, de coordonnées angulaires constantes par rapport au TCB. On peut considérer ce système comme déterminé expérimentalement par les observations VLBI (Very Long Baseline Interferometry) des quasars de référence sans faire intervenir aucun concept d'astronomie fondamentale (pour des raisons pratiques, on a choisi pour plan de l'ICRF un plan voisin de celui de l'équateur moyen de J2000). L'ITRF est matérialisé par un ensemble de stations terrestres de référence de coordonnées constantes par rapport au TCG (à l'exception des mouvements tectoniques). On a choisi le plan principal de ce repère comme plan de l'équateur de la date déterminé à partir des données expérimentales extraites des EOP (Earth Orientation Parameters).

L'ICRS représente mathématiquement un système de coordonnées global BCRS (Barycentric Celestial Reference System) dont l'origine est au barycentre du système solaire (défini dans le cadre de la GRT). Ce système englobe un espace dans lequel il est raisonnable de considérer le système solaire comme un système de masses isolé (en négligeant l'influence du potentiel galactique) dont l'émission de radiation gravitationnelle est négligeable. Dans ce cadre, l'ICRF est équivalent au système inertiel de l'astrométrie newtonienne. L'ITRS représente un système de coordonnées local tournant avec la Terre. Il englobe une région de l'espace dans le voisinage de la Terre et son origine est au géocentre (défini dans le cadre de la GRT).

Il est à noter que la résolution A4 (UAI, 1992) n'a jamais été utilisée dans la pratique sous sa forme complète. L'ICRS et l'ITRS sont en fait utilisés comme des systèmes de coordonnées triaxiaux newtoniens. Le TCB et le TCG sont remplacés en pratique par le TDB (Temps dynamique barycentrique) ou son équivalent le T_{eph} défini par Standish (1998a) et le TT (Temps terrestre),

respectivement. Cependant les transformations relativistes reliant le TDB au TT d'une part, et les coordonnées spatiales barycentriques aux coordonnées géocentriques d'autre part, sont utilisées dans des observations de haute précision (VLBI, LLR (Lunar Laser Ranging), etc). Dans la dernière décennie du vingtième siècle, les résolutions de l'UAI adoptées en 1991 furent complétées à chaque assemblée générale de l'UAI. La résolution C7 (UAI, 1994), définissant l'époque J2000 et la durée du siècle julien en TT, recommandait aussi le développement de nouvelles éphémérides en TCB et TCG. La résolution B6 (UAI, 1997) recommandait encore une fois l'usage de systèmes de référence barycentrique et géocentrique en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992), c'est-à-dire sans introduire les facteurs d'échelle de longueur et de masse qu'entraîne l'utilisation du TDB et du TT à la place du TCB et du TCG, respectivement. La vingt-quatrième assemblée générale adopta la résolution B1 (UAI, 2001) qui impliquait des utilisations plus importantes de certains aspects de la GRT dans la théorie des systèmes de référence astronomiques (Petit, 2000). Enfin, la vingt-sixième assemblée générale, dans sa résolution 3 (UAI, 2006), redéfinit le TDB comme fonction linéaire de TCB, évitant ainsi la possibilité de réalisations multiples de TDB. On peut voir à ce sujet les commentaires de Brumberg et Groten (2001), l'explication détaillée de Soffel et al. (2003), la discussion sur les applications pratiques de cette résolution dans (IERS, 2002), et enfin le chapitre 2 de cet ouvrage.

3.2.2. Relation entre les systèmes de référence BCRS et ITRS

Pour relier le BCRS et l'ITRS, il est nécessaire d'avoir un système géocentrique local supplémentaire avec la même échelle de temps, le TCG, que celle utilisée dans l'ITRS et les mêmes directions des axes spatiaux que le BCRS. Un tel système, noté GCRS (Geocentric Celestial Reference System), est introduit par la résolution B1.3 (UAI, 2001). Les écritures mathématiques des relations entre ces systèmes sont données en 3.2.3. Afin de respecter la hiérarchie des systèmes de référence dans le cadre de la GRT, deux points doivent être soulignés :

- Premièrement, le GCRS représente un système cinématiquement non-tournant par rapport au BCRS (conservation des directions des axes spatiaux). Mais ce système tourne dynamiquement par rapport au BCRS (présence de termes centrifuges et de Coriolis dans les équations du mouvement dans le GCRS). L'amplitude de la vitesse angulaire de cette rotation est d'ordre relativiste et est induite par le déplacement du géocentre autour du barycentre du système solaire. En fait, la transformation à quatre dimensions entre le barycentre et le géocentre peut s'appliquer à tout système barycentrique BRS soit vers un DGRS (Dynamical Geocentric Reference System), un système géocentrique dynamiquement non-tournant par rapport au BRS, soit vers un KGRS (Kinematical Geocentric Reference System), un système géocentrique cinématiquement non-tournant par rapport au BRS. Le GCRS représente un tel KGRS, plus particulièrement adapté à l'astrométrie. Les systèmes du type DGRS sont préférables pour la mécanique céleste puisqu'ils permettent d'avoir des équations géocentriques du mouvement sans termes induits par la rotation du système.

• Deuxièmement, les concepts classiques de l’astronomie fondamentale et du système de constantes astronomiques sont basés sur la mécanique newtonienne avec son temps et son espace absolus. Dans l’astronomie newtonienne, de tels concepts sont invariants lors de transformations du barycentre au géocentre et inversement. De telles invariances n’ont plus cours en astronomie relativiste. Afin d’éviter des confusions, on doit aller plus loin que le cadre des systèmes ICRS et ITRS.

Une des possibilités envisageables est de considérer plusieurs systèmes de référence barycentriques et géocentriques, comme il avait été suggéré pour la première fois par Brumberg et al. (1996). Au niveau barycentrique, on peut considérer un système écliptique BRSC et un système équatorial BRSQ couplés à l’ICRS (BCRS, que l’on nommera dans la suite BRS). Leurs plans principaux coïncident avec les plans de l’écliptique et de l’équateur fixes à J2000. L’échelle de temps-coordonnée des trois systèmes quadridimensionnels est $t = \text{TCB}$. Leurs coordonnées dans l’espace peuvent être désignées par $\mathbf{x} = (x^i)$, $\mathbf{x}_C = (x_C^i)$ et $\mathbf{x}_Q = (x_Q^i)$, respectivement ($i = 1, 2, 3$). Au niveau géocentrique, chacun de ces trois systèmes introduit deux systèmes géocentriques, l’un dynamiquement (D) non-tournant par rapport au système barycentrique correspondant et l’autre cinématiquement non-tournant (K) par rapport à ce même système barycentrique. Il en résulte que l’on a au niveau géocentrique six systèmes géocentriques DGRS, KGRS, DGRSC, KGRSC, DGRSQ et KGRSQ. Ils ont tous comme échelle de temps-coordonnée $u = \text{TCG}$ (dans le cadre de l’approximation post-newtonienne). Leurs coordonnées spatiales sont désignées par $\mathbf{w} = (w^i)$, $\mathbf{w}_C = (w_C^i)$ et $\mathbf{w}_Q = (w_Q^i)$, respectivement. Si cela est nécessaire, les coordonnées spatiales des systèmes dynamiquement (D) non-tournant et cinématiquement (K) non-tournant peuvent être distinguées explicitement en précisant w^i avec $q = 1$ pour le système D et $q = 0$ pour le système K. Le GCRS tel qu’il est défini par la résolution B1.3 (UAI, 2001) correspond avec ces notations à KGRS. Les théories planétaires VSOP sont construites dans le BRSC (Bretagnon et Francou, 1988). La théorie de la rotation de la Terre SMART est considérée comme étant dans le DGRSC (Bretagnon et al., 1997, 1998). Le système le plus adéquat pour la représentation du mouvement d’un satellite proche de la Terre est évidemment le DGRSQ. Puisque l’écliptique ne peut être défini raisonnablement qu’au niveau barycentrique, le GRSC (quelle que soit sa version dynamiquement ou cinématiquement non-tournant) doit être considéré uniquement comme un autre système intermédiaire entre l’ICRS et l’ITRS. De la même façon, puisque l’équateur ne peut être défini raisonnablement qu’au niveau géocentrique, le BRSQ doit être considéré comme un intermédiaire supplémentaire entre l’ICRS et l’ITRS.

3.2.3. Description mathématique

La description mathématique des relations entre les systèmes de cette hiérarchie de systèmes de référence relativistes est donnée ici sous l’approximation post-newtonienne d’ordre c^{-2} .

Les systèmes au niveau barycentrique sont reliés par une rotation triaxiale constante

$$\mathbf{x}_C = P_C \mathbf{x}, \quad \mathbf{x}_Q = P_Q \mathbf{x}, \tag{3.2.1}$$

où P_C et P_Q sont des matrices de rotation constante. Cette rotation constante est aussi présente au niveau géocentrique dans les transformations entre systèmes du même type (D ou K). En comparant les solutions planétaires VSOP construites dans le BRSC et les éphémérides numériques DE403 dans l'ICRS on a

$$P_C = R_1(\varepsilon)R_3(\chi), \quad P_Q = R_3(\chi), \quad (3.2.2)$$

où $\varepsilon = 23^\circ 26' 21.40928''$, $\chi = -0.05294''$. $R_i(\chi)$ représentent ici les matrices de rotation élémentaires (cf. 5.1.2). Des valeurs légèrement différentes de ε et χ ont été proposées par Bretagnon et al. (2003) pour la construction de futures éphémérides planétaires analytiques. Le problème de cohérence entre la hiérarchie des systèmes de référence relativistes d'une part et les théories planétaires et lunaires actuelles (numériques et analytiques) ainsi que la théorie de la rotation de la Terre d'autre part, n'est pas encore complètement résolu. En complément de (3.2.1), au niveau géocentrique, on a :

$$\mathbf{y} = \hat{P}(u) \mathbf{w}_q = \hat{P}(u) P_C \mathbf{w}_q = \hat{P}(u) P_C P_Q^T \mathbf{w}_q, \quad \text{pour } q = 0 \text{ et } q = 1. \quad (3.2.3)$$

$\hat{P}(u)$ représente la matrice de rotation de la Terre donnant l'orientation des axes spatiaux $\mathbf{y} = (y^i)$ de l'ITRS par rapport aux axes spatiaux du DGRSC (pour $q = 1$) ou du KGRSC (pour $q = 0$), et l'indice T note la matrice transposée (correspondant pour la matrice de rotation à sa matrice inverse). Les relations entre les systèmes dynamiquement et cinématiquement non-tournants font intervenir une matrice symétrique de rotation géodésique de la forme :

$$\mathbf{w}_0 = (E - c^{-2}F) \mathbf{w}_1, \quad \mathbf{w}_0 = (E - c^{-2}F_C) \mathbf{w}_1, \quad \mathbf{w}_0 = (E - c^{-2}F_Q) \mathbf{w}_1 \quad (3.2.4)$$

et

$$\hat{P}(u) = \hat{P}(u)(E - c^{-2}F_C), \quad (3.2.5)$$

E étant la matrice unité et $F_C = P_C F P_C^T$, $F_Q = P_Q F P_Q^T$. À la place de la matrice $F = (F^{ij})$, on utilise souvent la représentation sous forme vectorielle avec

$$F^{ij} = \varepsilon_{ijk} F^k, \quad F^i = \frac{1}{2} \varepsilon_{ijk} F^{jk}, \quad \varepsilon_{ijk} = \frac{1}{2}(i-j)(j-k)(k-i). \quad (3.2.6)$$

Nous appliquons ici, et partout dans la suite où se trouve un indice latin répété deux fois, la convention d'Einstein¹. Le vecteur de rotation géodésique F^i comprend la précession géodésique, la nutation géodésique et les termes planétaires luni-solaires (avec une modélisation de masse ponctuelle non-tournante). Il est déduit de l'intégration de l'expression :

$$\dot{F}^i = \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}^3} [(-\frac{3}{2} \mathbf{v}_E + 2\mathbf{v}_A) \times \mathbf{r}_{EA}]^i. \quad (3.2.7)$$

¹ Selon la convention d'Einstein, toutes les fois que dans un monôme figure deux fois le même indice on doit sommer les monômes obtenus en donnant à cet indice toutes les valeurs possibles, ici de 1 à 3.

Exemple : $a^i y_i = a^1 y_1 + a^2 y_2 + a^3 y_3$.

Ici et dans la suite, nous utilisons les notations suivantes pour les coordonnées et les vitesses BRS des objets célestes :

$$\mathbf{x}_E = \mathbf{x}_E(t), \quad \mathbf{r}_E = \mathbf{x} - \mathbf{x}_E, \quad \mathbf{v}_E = \dot{\mathbf{x}}_E(t), \quad \mathbf{r}_{EA} = \mathbf{x}_E - \mathbf{x}_A. \quad (3.2.8)$$

Dans (3.2.7), la sommation est effectuée sur tous les corps A du système solaire (le Soleil, la Lune et les planètes principales), à l'exception de la Terre notée E . Bretagnon et Brumberg (2003) donnent une expression détaillée de \hat{F}^i et F^i ; Brumberg et Simon (2003) donnent les séries pour F_C^i . Puisque la théorie SMART de rotation de la Terre (Bretagnon et al., 1997, 1998) est supposée construite dans le DGRSC, les trois angles d'Euler de la matrice $\hat{P}_1(u)$ peuvent être considérés comme des EOP dynamiques. Les angles d'Euler analogues de la matrice $\hat{P}_0(u)$ liés au KGRSC et à l'ITRS peuvent être considérés comme des EOP cinématiques (quantités observables). Les différences entre ces angles d'Euler dynamiques et cinématiques, fonctions de F_C , sont aussi données par Brumberg et Simon (2003).

D'un point de vue théorique, on utilisera les descriptions mathématiques (tenseurs métriques) du BRS et GRS données par la résolution B1 (UAI, 2001) et les références contenues dans cette résolution. La plupart des applications pratiques requièrent uniquement les transformations entre BRS et GRS décrites dans la suite.

La transformation directe faisant passer des coordonnées BRS x^i à l'instant t aux coordonnées GRS w^i à l'instant u s'écrit :

$$u = t - c^{-2}[A(t) + \mathbf{v}_E \mathbf{r}_E] + \dots, \quad (3.2.9)$$

$$w^i = r_E^i + c^{-2}[\frac{1}{2}\mathbf{v}_E \mathbf{r}_E v_E^i - q\varepsilon_{ijk}F^j r_E^k + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)r_E^i + \mathbf{a}_E \mathbf{r}_E r_E^i - \frac{1}{2}\mathbf{r}_E^2 a_E^i] + \dots \quad (3.2.10)$$

où r_E^i représente les coordonnées du vecteur \mathbf{r}_E . La fonction $A(t)$ est définie par l'équation différentielle

$$\dot{A}(t) = \frac{1}{2}\mathbf{v}_E^2 + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E), \quad (3.2.11)$$

\mathbf{a}_E est le terme principal de l'accélération BRS de la Terre et $\bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)$ représente le potentiel newtonien de tous les objets du système solaire (sauf la Terre), évalué au géocentre. Dans l'approximation de masse ponctuelle, suffisante pour le calcul pratique des termes relativistes on a :

$$\mathbf{a}_E = - \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}^3} \mathbf{r}_{EA}, \quad \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E) = \sum_{A \neq E} \frac{GM_A}{r_{EA}}. \quad (3.2.12)$$

On note que l'équation (3.2.11) est donnée dans la résolution B1 (UAI, 2001) à l'approximation d'ordre c^{-4} (UAI, 2001; Soffel et al., 2003). Afin d'éviter des complications purement techniques, l'exposé est ici limité au modèle des masses ponctuelles non-tournantes et l'approximation d'ordre c^{-2} est, dans la pratique, suffisante pour les applications actuelles. La relation (3.2.10) est valide aussi bien pour les transformations du BRS vers un système cinématiquement non-tournant KGRS pour $q = 0$ (ce qui correspond à la transformation BCRS→GCRS selon la terminologie de la résolution B1), que pour les transformations du BRS vers un système dynamiquement non-tournant DGRS pour $q = 1$. Toutefois, pour simplifier l'écriture, nous n'écrivons pas l'indice inférieur q pour les coordonnées géocentriques w^i .

La transformation inverse faisant passer des coordonnées GRS w^i à l'instant u aux coordonnées BRS x^i à l'instant t s'écrit

$$t = u + c^{-2}[A(u) + \mathbf{v}_E \mathbf{w}] + \dots, \quad (3.2.13)$$

$$x^i = w^i + z_E^i(u) + c^{-2}[\frac{1}{2}\mathbf{v}_E \mathbf{w} v_E^i + q\varepsilon_{ijk} F^j w^k - \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E) w^i - \mathbf{a}_E \mathbf{w} w^i + \frac{1}{2}\mathbf{w}^2 a_E^i] + \dots \quad (3.2.14)$$

avec l'équation du temps relativiste

$$u = t^* - c^{-2}A(t^*) + \dots, \quad (3.2.15)$$

et la représentation du mouvement de la Terre en TCG

$$z_E^i(u) = x_E^i(t^*). \quad (3.2.16)$$

Pour effectuer la transformation directe via les équations (3.2.9) et (3.2.10), on doit connaître la fonction $A = A(t)$ en intégrant numériquement ou analytiquement (3.2.11). Pour la transformation inverse via (3.2.13) et (3.2.14), on obtient les deuxièmes membres de ces équations en fonction de u par inversion analytique ou numérique de l'équation (3.2.15) et obtention de la relation $t^* = t^*(u)$. L'équation (3.2.15) est déduite de la transformation (3.2.9) appliquée au géocentre.

La fonction temporelle $A(t)$ et le vecteur de rotation géodésique $F^i(t)$ sont uniquement définis à partir de leurs dérivées en fonction du temps (3.2.11) et (3.2.7), respectivement. Il faut donc déterminer des constantes additionnelles arbitraires par des considérations complémentaires. Pour $A(t)$, il est raisonnable de définir la constante de telle façon que $t = u$ le 1er janvier 1977 à 0h 0m 0s TAI (JD=2443144.5 TAI) au géocentre (origine 1977) comme cela a été suggéré par Guinot (2000), en accord avec la résolution A4 (UAI, 1992). Pour les constantes de $F^i(t)$, Bretagnon et Brumberg (2003) et Brumberg et Simon (2004) ont imposé la condition $F^i = 0$ à J2000 (l'époque est définie au géocentre au 1.5 janvier 2000 TT, soit JD = 2451545.0 TT). Cela n'affecte pas la relation entre BCRS et GCRS mais cela est important pour la définition des DGRS, c'est-à-dire les systèmes géocentriques dynamiquement non-tournants.

La fonction $A(t)$ satisfaisant (3.2.11) est habituellement représentée sous la forme donnée par Fairhead et Bretagnon (1990), comme il est indiqué au paragraphe 2.7.1,

$$A(t) = c^2 L_C t + A_p(t), \quad (3.2.17)$$

où la constante L_C dépend des théories planétaires ($L_C = 1.480\,826\,855\,667 \times 10^{-8}$ pour les solutions VSOP) et où $A_p(t)$ est déterminé numériquement ou analytiquement sous la forme

$$A_p(t) = \sum_{\alpha} t^{\alpha} \left[\sum_k A_k^{\alpha} \cos(\psi_k^{\alpha} + \nu_k^{\alpha} t) \right]. \quad (3.2.18)$$

À la différence de la plupart des solutions précédentes, Bretagnon et Brumberg (2003) donnent cette fonction $A_p(t)$, en introduisant une constante additionnelle, comme discuté précédemment. À partir de (3.2.17), on peut transformer (3.2.15) en

$$u = (1 - L_C)t^* - c^{-2}A_p(t^*) + \dots \quad (3.2.19)$$

Dans ce cas, l'inversion de (3.2.15) peut s'écrire

$$t^* = (1 + L_C)u + c^{-2}A_p(u) + \dots, \quad (3.2.20)$$

d'où l'on déduit

$$z_E^i(u) = x_E^i[(1 + L_C)u] + c^{-2}A_p(u)v_E^i(u) + \dots \quad (3.2.21)$$

(dans le cadre de la précision post-newtonienne, on peut négliger les différences relativistes dans les arguments des termes relativistes).

Des séries pour tous les coefficients nécessaires pour exprimer les transformations directe et inverse BRS→GRS sont calculées avec les éphémérides VSOP par Bretagnon et Brumberg (2003). Si l'on considère que TCB et TCG sont souvent remplacés par TDB (ou T_{eph}) et TT, respectivement, toutes les formules de base (3.2.9), (3.2.10), (3.2.13), (3.2.14), (3.2.20) et (3.2.21) sont données dans la suite pour les quatre combinaisons possibles d'échelles de temps.

En relation avec la transformation BRS↔GRS, notons que la fonction $z_E^i(u)$ déterminée par (3.2.21) ainsi que la fonction similaire $z_A^i(u) = x_A^i(t^*)$ déterminée de la même façon pour tout corps A sont importantes pour le calcul des vecteurs position géocentriques $\mathbf{w}_A(u)$ des objets célestes en fonction de leurs coordonnées BRS $\mathbf{x}_A(t)$. En notant $\mathbf{r}_{AE} = \mathbf{x}_A - \mathbf{x}_E$ et en utilisant les fonctions $z_E^i(u)$, $z_A^i(u)$, on obtient

$$\begin{aligned} w_A^i(u) = & z_A^i(u) - z_E^i(u) + c^{-2}[\mathbf{v}_E \mathbf{r}_{AE} (v_A^i - \frac{1}{2}v_E^i) - q\varepsilon_{ijk}F^j r_{AE}^k + \bar{U}_E(t, \mathbf{x}_E)r_{AE}^i + \\ & + \mathbf{a}_E \mathbf{r}_{AE} r_{AE}^i - \frac{1}{2}\mathbf{r}_{AE}^2 a_E^i] + \dots \end{aligned} \quad (3.2.22)$$

Cette transformation a été utilisée par Brumberg et Simon (2003) pour exprimer les arguments des théories lunaires et planétaires du BRS vers le GRS et pour obtenir les termes relativistes principaux dus à la Lune et au Soleil, dans la théorie SMART de la rotation de la Terre. Comme le montre l'équation (3.2.3), la transformation courante ITRS↔GCRS est une rotation triaxiale newtonienne des axes spatiaux de ces systèmes (y^i et w_0^i respectivement). Si $\hat{P}_0(u)$ est la matrice de rotation de la Terre liant l'ITRS et le KGRSC (le système de référence écliptique géocentrique cinématiquement non-tournant) et \mathbf{y} , le triplet des coordonnées spatiales de l'ITRS, alors la transformation ITRS↔GCRS a la forme

$$\mathbf{y} = T \mathbf{w}_0, \quad T = \hat{P}_0(u)P_C. \quad (3.2.23)$$

Différentes formes de la matrice de rotation T ont été considérées par Bretagnon et Brumberg (2003). L'extension relativiste de la théorie SMART développée par Brumberg et Simon (2003) permet d'avoir des valeurs relativistes des trois angles d'Euler définissant la matrice $\hat{P}_0(u)$ et d'évaluer les contributions relativistes dans la transformation de formalisme newtonien (3.2.23).

3.3. SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE DYNAMIQUES

3.3.1. Introduction

Un *système de référence idéal* est défini par l'énoncé d'un principe général que devra vérifier un système d'axes de coordonnées. Un *système de référence conventionnel* qui associe au principe de base du système de référence idéal des constantes fondamentales et des modèles nécessaires à sa réalisation, permet la description quantitative des positions et mouvements de la Terre (système terrestre), ou de corps célestes (incluant la Terre) dans l'espace. La construction d'un tel système conventionnel implique le choix de structures dans lesquelles les mouvements peuvent être décrits par le biais de théories physiques. La définition d'un *repère* (ensemble de points, d'objets ou de coordonnées reliés entre eux et permettant de repérer un point ou un objet dans l'espace) mais aussi les théories utilisées et les échelles de temps associées (*cf.* 3.2) pour la définition de ce système de coordonnées (précession, nutation, éphémérides planétaires, etc.) composent la structure d'un système de référence conventionnel. Les choix pour les définitions d'un système de référence idéal et des systèmes conventionnels associés ne sont pas uniques. Cependant, on peut demander à un système de référence qu'il permette l'écriture sans ambiguïté des équations du mouvement des corps dont les coordonnées sont décrites dans le repère associé. Ce qui implique, dans le cadre de la mécanique newtonienne, que la description des positions et du mouvement d'un objet dans le système de référence n'introduise pas de termes additionnels dans les équations du mouvement. Répondant à ces critères, il existe deux définitions possibles de systèmes de référence :

- Les systèmes de référence cinématiques sont basés sur l'étude statistique des mouvements de corps lointains, galaxies lointaines et quasars, du seul point de vue cinématique. On suppose dans cette définition que l'Univers est non-tournant et que les objets très lointains tels que les quasars n'ont pas de vitesse de groupe. Un tel système, aussi appelé système de référence idéalement *non-tournant* (Kovalevsky et Mueller, 1989), est essentiellement basé sur la cinématique supposée aléatoire de ces objets lointains. L'ICRS répond à cette définition de système de référence cinématique. Il est d'ailleurs le premier système de référence pouvant remplir ce critère. L'ICRF sera appelé réalisation primaire de l'ICRS, puisque c'est lui qui a matérialisé initialement l'ICRS et puisque c'est à lui que seront liés tous les autres repères cinématiques ou dynamiques. Le catalogue Hipparcos lié à l'ICRF par l'observation par le satellite Hipparcos de sources extragalactiques sera une des réalisations secondaires de l'ICRS dans le domaine visible (Kovalevsky et al., 1997). À l'ICRS, seront associés un ensemble de constantes fondamentales et de modèles, permettant de définir un système de référence conventionnel associé ou confondu dans sa dénomination à l'ICRS.

- Les systèmes de référence dynamiques sont basés sur l'étude dynamique des corps célestes, c'est-à-dire sur la résolution des équations différentielles de leur mouvement, soit dans le cadre newtonien, soit dans le cadre relativiste. Ainsi, en supposant un certain nombre de corps, leur mouvement peut être décrit dans le cadre de la mécanique newtonienne par la résolution d'un système d'équations différentielles écrites dans un repère triaxial fixe. À partir de ces équations, certains points et directions invariants sont définis. Il est alors possible d'utiliser ces invariants (par exemple le barycentre du système solaire d'accélération nulle ou l'axe invariant du moment

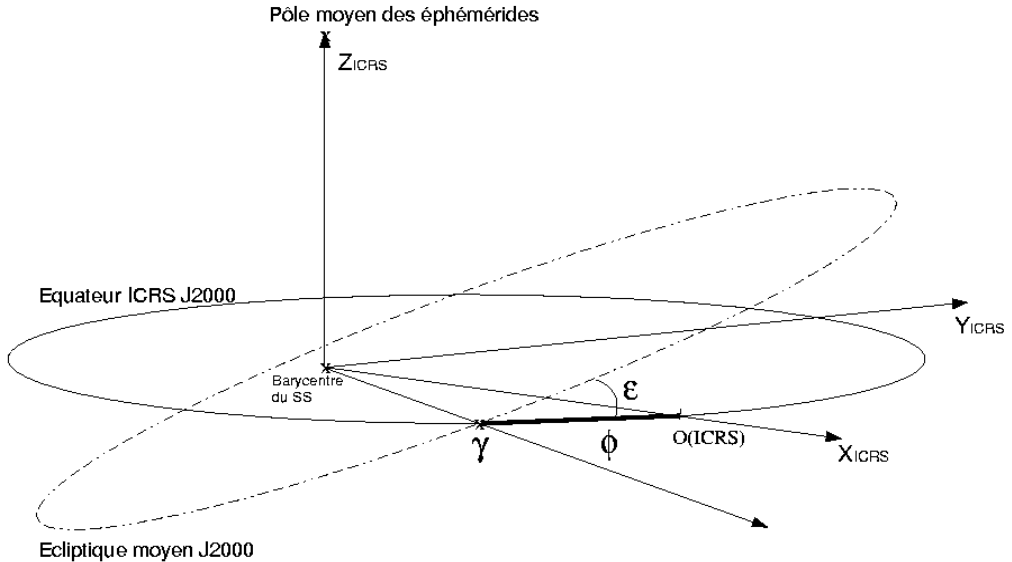


Fig. 3.3.1. Définition des axes et raccordement des systèmes de référence dynamiques à l'ICRS

d'inertie) pour construire un système de coordonnées. Une éphéméride planétaire ou lunaire couvrant une période suffisante peut ainsi réaliser un repère de référence appelé repère de référence dynamique. Un système de référence ayant une telle matérialisation dynamique sera appelé système de référence inertiel ou quasi-inertiel dans le cadre relativiste. On définira aussi un système de référence dynamique conventionnel comme l'association du repère de référence dynamique à une série de constantes fondamentales (masses planétaires, valeur de l'unité astronomique...) et de modèles (précession-nutation, échelle de temps...) ayant permis la mise en place de ce repère. De plus, à un système de référence cinématique (ici l'ICRS) on peut associer un repère de référence dynamique (représenté par des éphémérides planétaires ou lunaires) lié au repère cinématique.

3.3.2. Définitions

Un repère de référence dynamique est défini à partir de points et de directions invariants par résolution des équations différentielles du mouvement du système dynamique étudié. Ainsi à partir des équations du mouvement des planètes principales du système solaire autour du Soleil, écrites et résolues dans un système de coordonnées non-tournant ou inertiel, on peut définir les plans de référence et les origines suivants.

Le plan de *l'écliptique moyen inertiel de la date* est le plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune lorsque sa vitesse est calculée dans un système de coordonnées non-tournant. C'est le plan naturel des équations du mouvement des planètes (Standish, 1981).

Afin de relier le repère dynamique représenté par le plan de l'écliptique moyen inertiel de la date à un repère matérialisant un système de référence, on associe au plan de l'écliptique moyen inertiel de la date, *l'équinoxe dynamique moyen inertiel de la date* qui sera le nœud ascendant, noté γ sur la figure 3.3.1, du plan de l'écliptique inertiel moyen de la date sur le plan fixe de *l'équateur moyen de la date*, plan défini à partir de la direction du pôle céleste et les théories de précession-nutation associées au système de référence que l'on cherche à raccorder. De façon plus générale, lorsque l'on choisit le plan de l'écliptique inertiel moyen d'une date de référence comme plan de référence d'un système, on est amené à compléter ce choix par celui d'un axe fixe du plan, passant par le centre du système de référence et coupant la sphère céleste en un point dit origine ou origine des ascensions droites. On prend souvent pour origine l'équinoxe dynamique inertiel. Pour la définition de l'ICRS, il a été choisi comme origine des ascensions droites l'ascension droite moyenne de vingt-trois radio-sources (*cf.* 3.4). Ce point est très proche de l'équinoxe dynamique inertiel moyen à J2000 (Arias et al., 1988) et est représenté par $o(\text{ICRS})$ sur la figure 3.3.1. Sur cette figure est aussi indiqué l'angle ε d'inclinaison entre le plan écliptique moyen J2000 et le plan équatorial de l'ICRS.

Notons qu'à l'époque où les moyens d'observations ne permettaient pas la mise en place d'un repère de référence inertiel avec une précision suffisante, il était très difficile de définir observationnellement un système de coordonnées non-tournant. Le moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune était estimé dans un système de coordonnées tournant, appelé *système de coordonnées rotationnel*, défini à partir d'observations méridiennes du Soleil et des planètes. Le plan perpendiculaire à un tel moment cinétique est appelé *plan de l'écliptique rotationnel moyen de la date* et peut être décrit théoriquement à partir du plan de l'écliptique inertiel moyen de la date et de l'équinoxe dynamique inertiel moyen de la date (Standish, 1981 ; Kinoshita et Aoki, 1983). Au plan de l'écliptique dynamique rotationnel moyen de la date est associée une origine, *l'équinoxe rotationnel moyen de la date*, définie comme le nœud ascendant du plan de l'écliptique moyen rotationnel de la date sur l'équateur moyen de la date.

Enfin, il est aussi possible de définir un système de référence inertiel à partir des axes instantanés de rotation du pôle céleste des éphémérides et de l'équinoxe vrai de la date. Cette définition diffère de celle de l'ICRS par le choix des théories de précession et de nutation utilisées pour construire le système d'axes équatorial. On appelle un tel système, système du pôle céleste moyen des éphémérides (Chapront et al., 1999).

Rappelons que l'on définit un système de référence conventionnel par l'association d'un repère de référence et d'un système de constantes fondamentales auquel appartient l'obliquité de l'écliptique à une date de référence, et d'une théorie de précession et de nutation.

3.3.3 Systèmes de référence et éphémérides

Il est possible d'associer à une quelconque solution du mouvement du barycentre Terre-Lune un système de référence dynamique. Il peut donc exister une multitude de systèmes dynamiques conventionnels, vérifiant la même propriété générale de définition d'un système de référence dynamique mais faisant appel à des valeurs de constantes fondamentales ou des modèles dynamiques différents. Nous choisissons ici de présenter trois d'entre eux. Le premier système de référence conventionnel

Table 3.3.1. Observations utilisées dans DE405 pour effectuer le lien avec l'ICRF. La deuxième colonne indique la période moyenne des observations, alors que la quatrième donne le type d'observables : α, δ pour des quantités angulaires et ρ pour des distances.

Observations	Dates	Planète	Observables	Précision	Nombres
Phobos VLBI	1989	Mars	α, δ	10-100 mas	2
Ulysses VLBI	1992	Jupiter	α, δ	3-6 mas	2
Magellan VLBI	1990-1994	Vénus	α, δ	3-10 mas	18
Galileo VLBI	1995	Jupiter	α, δ	50-200 mas	2
LLR	1969-1996	Lune	ρ	2-30 cm	11218

présenté est basé sur les solutions numériques du mouvement des planètes et de la Lune développées au JPL et ajustées aux observations les plus modernes (suivi de sondes spatiales, VLBI, LLR). Le système de référence défini à partir de la solution DE405 (Standish, 1998b) a été choisi comme système dynamique de référence associé à l'ICRS (IERS, 2003), c'est-à-dire comme matérialisation dynamique de l'ICRS.

La seconde famille de systèmes de référence conventionnels présentée a été construite à partir des solutions semi-analytiques du mouvement de la Lune développées par Chapront et Chapront-Touzé (1997), Chapront et al. (1999), Chapront et al. (2002), Chapront et Francou (2003) et ajustées aux observations de la distance Terre-Lune par télémétrie laser (LLR). Cette famille présente la particularité de définir un système dynamique associé au repère du pôle céleste moyen des éphémérides tel que recommandé par l'IERS (IERS, 2003).

Enfin, le troisième système que nous allons présenter a été construit à partir des théories analytiques du mouvement des planètes, VSOP. Cette famille de système donne une autre réalisation possible d'un système dynamique inertiel.

Rappelons que dans ces trois cas de figure les systèmes sont dynamiques inertiels.

3.3.3.1. *Éphémérides numériques du JPL*

Par le passé, les systèmes de référence des éphémérides planétaires du JPL étaient le FK4 à l'époque de référence B1950.0 (par exemple avec la solution DE118 de Newhall et al., 1983) et plus tard l'équateur moyen et l'équinoxe dynamique du FK5 à J2000 (par exemple avec la solution DE200 de Standish, 1982). Depuis la solution DE403 (Standish et al., 1995), les solutions numériques du mouvement des planètes du JPL sont reliées à l'ICRF. Ce lien a été établi par l'intermédiaire de l'ajustement des solutions planétaires à des observations donnant la position des planètes dans l'ICRF. Comme il est décrit par Standish (1998b) et Folkner et al. (1994) le raccordement s'effectue en quatre étapes :

- L'ICRF est relié aux positions des radio-télescopes via les observations VLBI. Il est donc possible d'avoir les coordonnées des radio-télescopes directement dans l'ICRF.

- Les radio-télescopes sont reliés aux stations LLR via l'ITRF. On a donc les coordonnées des stations de tirs laser liées à l'ICRF.
- Les centres LLR sont reliés au mouvement de la Lune via les observations LLR. Ainsi le barycentre Terre-Lune est directement connecté à l'ICRF.
- Les planètes intérieures sont directement liées au barycentre Terre-Lune via les théories dynamiques et les observations radar et de suivi des sondes. Les planètes extérieures sont liées directement à l'ICRF via des observations VLBI de suivi de sonde. Les observations VLBI du suivi des sondes au voisinage des planètes extérieures étant rares et réparties sur un intervalle de temps court (voir table 3.3.1), il est aussi nécessaire d'inclure dans l'ajustement des observations optiques de ces planètes effectuées au cours des siècles précédents. Pour les plus modernes d'entre elles, il est possible de raccorder à l'ICRF les positions observées soit directement (rencontre proche avec une étoile Hipparcos par exemple) soit indirectement (raccordement du FK5 à l'ICRF, Morrison, 1992), corrections d'erreurs systématiques dans le FK4 et le FK5 (Schwan, 1983 ; Fricke, 1982).

Cette succession de liens permet de raccorder le repère de référence dynamique déterminé à partir du mouvement de la Lune et des planètes au repère de référence cinématique de l'ICRS. Il est possible de déterminer un vecteur représentant de petites rotations entre le repère dynamique de l'éphéméride et l'ICRF autour des axes du repère dynamique équatorial (Folkner et al., 1994 ; Standish et al., 1995). Standish (1998c) donne pour vecteur de rotation entre le repère dynamique de DE403 et l'ICRF

$$(-1 \pm 2, +2 \pm 3, +1 \pm 3) \text{ mas}$$

Avec DE405, le lien à l'ICRF reste très stable, puisque sur six siècles, les coordonnées héliocentriques du barycentre Terre-Lune de DE405 ne s'écartent des axes de DE403 que de

$$(+0.3 - 0.2T, -0.3 + 0.1T, +3.2 - 0.9T) \text{ mas}$$

où T est le temps compté en siècles à partir de J2000.

Grâce aux observations par rapport à l'ICRF, les systèmes de référence dynamiques déduits des intégrations numériques du JPL ajustées aux observations spatiales et LLR, peuvent être raccordés à l'ICRF avec une précision de quelques millisecondes de degré (mas). Le système de référence conventionnel associé aux intégrations numériques du JPL est constitué du repère de référence dynamique défini plus haut et de l'ensemble des constantes fondamentales et des modèles utilisés pour obtenir les solutions planétaires.

3.3.3.2. *Éphémérides semi-analytiques de la Lune*

Des solutions analytiques et semi-analytiques du mouvement orbital et de la libration de la Lune ont été développées et ajustées aux observations LLR (Chapront et Chapront-Touzé, 1997 ; Chapront et al., 1999 ; Chapront et al., 2002). Afin d'augmenter la précision de la modélisation, des compléments numériques déterminés par comparaisons à la solution numérique du JPL DE245, furent ajoutés à la solution en séries du mouvement de la Lune ELP 2000-82B (Chapront et Chapront-Touzé,

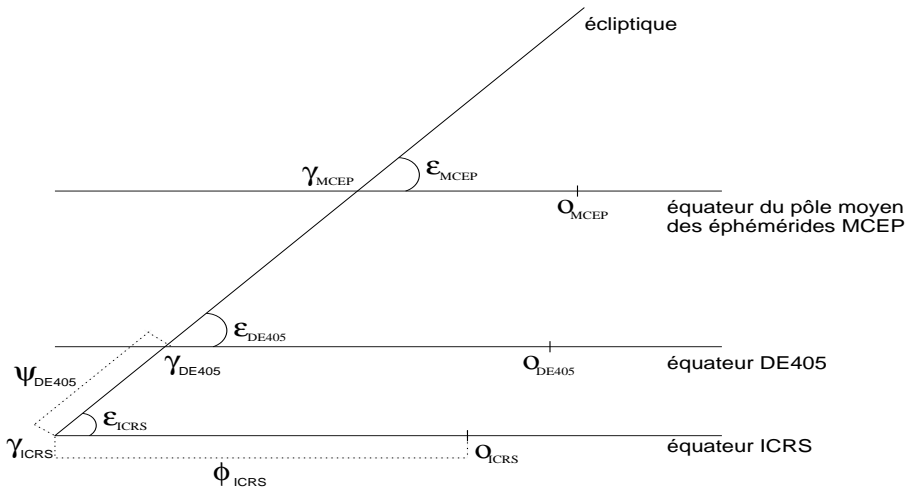


Fig. 3.3.2. Angles utilisés pour les raccords entre systèmes de référence (d'après Chapront et al., 2002).

1997). La solution obtenue, associée à une nouvelle modélisation de la libration (Moons, 1984), a été ajustée aux observations LLR sur un intervalle allant de janvier 1992 à mars 1998 (Chapront et al., 2002). Cette nouvelle solution est notée S2001.

À partir de S2001, il est possible de définir un nouveau système de référence dynamique lié à l'ICRF. Le lien à l'ICRF s'effectue par l'intermédiaire des observations exprimées dans ce système de référence. Il est cependant possible d'exprimer ces observations dans d'autres systèmes de référence, comme le système lié au pôle céleste moyen des éphémérides. Dans le cas des données de distance laser-Lune, le lien entre le système de référence dynamique inertiel de la solution semi-analytique du mouvement orbital de la Lune à l'ICRF s'effectue via les positions des stations d'observations. En effet, les stations laser-Lune sont liées aux stations VLBI et donc à l'ICRF via le réseau géodésique international ITRF. Afin de pouvoir relier les coordonnées des stations dans le repère terrestre que constitue l'ITRF au repère céleste dynamique dans lequel sont exprimées les coordonnées géocentriques de la Lune, il faut considérer une transformation composée de rotations élémentaires et faisant intervenir les rotations permettant d'orienter les axes de l'ITRS vers les axes célestes instantanés pointant vers le pôle céleste des éphémérides et l'équinoxe vrai de la date (mouvement du pôle et UT1-UTC), et les rotations permettant de passer des axes célestes instantanés à un système d'axes équatorial fixe à J2000 (précession et nutation). Selon que l'on choisisse différentes rotations pour faire cette transformation de repère terrestre en repère céleste, on reliera le système dynamique déduit de la solution lunaire à différents systèmes de référence. Ainsi, si l'on choisit comme matrices de précession-nutation des matrices calculées à partir des

Table 3.3.2. Liens établis entre les différents repères de référence équatoriaux et l'écliptique moyen inertiel de la solution semi-analytique du mouvement de la Lune S2001 ajustée aux observations LLR pour les valeurs publiées par (Chapront et al., 2002). Les valeurs publiées par Moisson (1999) et Bretagnon et al. (2003) sont déduites des liens établis entre le repère de référence équatorial précisé dans la première colonne et le repère écliptique inertiel des solutions VSOP ajustées à DE403 (cf. 3.3.3.3).

Repères de référence	Auteurs	$\epsilon - 84381''$ ($''$)	ϕ ($''$)	ψ ($''$)
ICRF	Chapront et al., 2002	0.41100 ± 0.00005	-0.05542 ± 0.00011	
MCEP	Chapront et al., 2002	0.40564 ± 0.00009	-0.01460 ± 0.00015	0.0445 ± 0.0003
DE403	Chapront et al., 2002	0.40928 ± 0.00000	-0.05294 ± 0.00001	0.0048 ± 0.0004
DE405	Chapront et al., 2002	0.40960 ± 0.00001	-0.05028 ± 0.00001	0.0064 ± 0.0003
DE403	Moisson, 1999	0.40872	-0.05340	
DE405	Moisson, 1999	0.40893	-0.05101	
DE403	Bretagnon et al., 2003	0.408800	-0.053727	

théories recommandées par l'ICRS (modèle de précession de l'IAU 1976, Lieske et al., 1977 et modèle de nutation de l'IAU 1980, Seidelmann, 1982), on aura effectué le lien avec l'ICRF. Si par contre, on utilise des théories plus développées de précession et de nutation, comme, par exemple, Chapront et al. (2002) qui ont choisi, pour la précession le développement analytique de Williams (1994) et, pour la nutation, la théorie présentée dans les conventions IERS 1996 (IERS, 1996), on aura effectué le lien entre le système dynamique de S2001 et le système lié au pôle céleste moyen des éphémérides. Enfin, il est possible d'ajuster directement le repère de référence de S2001 aux solutions numériques du JPL. On peut ainsi vérifier le raccordement des solutions du JPL à l'ICRF par l'intermédiaire de S2001.

En suivant la méthode indiquée et en utilisant les dénominations suivantes illustrées sur la figure 3.3.2 : ϵ est l'inclinaison de l'écliptique moyen inertiel sur l'équateur d'un repère de référence équatorial (ICRF, DE405 ou du pôle moyen des éphémérides), ϕ est l'arc entre le nœud ascendant de l'écliptique moyen inertiel à J2000 sur l'équateur du repère de référence et l'origine des ascensions droites du repère équatorial de référence, et enfin ψ l'arc entre le nœud ascendant de l'ICRS et celui de l'écliptique moyen inertiel à J2000 de S2001 sur l'équateur du repère de référence autre que l'ICRS. Chapront et al. (2002) ont déterminé des liens entre les différents systèmes de références dynamiques définis à partir de DE405 et du pôle moyen des éphémérides et l'ICRF par l'intermédiaire du repère moyen écliptique de S2001 ajusté aux observations LLR. On trouvera dans la table 3.3.2 les valeurs publiées dans Chapront et al. (2002). Notons que par cette comparaison l'alignement de DE405 dans l'ICRF est confirmé avec une coïncidence des origines des ascensions droites de DE405 et de l'ICRF à mieux que 1 mas (0.7 mas à l'époque moyenne du raccordement de DE405 à l'ICRF).

3.3.3.3. *Éphémérides planétaires analytiques VSOP*

Les solutions VSOP sont des solutions du mouvement des planètes principales de Mercure à Neptune. Elles donnent des éphémérides de grande précision sur des intervalles de temps de l'ordre de plusieurs milliers d'années pour les planètes telluriques, de l'ordre de 1000 ans pour les grosses planètes. Les perturbations ont la forme classique de séries de Poisson des longitudes moyennes moyennes $\bar{\lambda}$ définies par $\bar{\lambda} = \lambda^0 + Nt$ où N est le moyen mouvement moyen. Les principales versions des solutions VSOP sont :

- VSOP82 (Bretagnon, 1982) ajustées à l'intégration numérique du JPL, DE200 (Standish, 1982) et exprimées en variables elliptiques.
- VSOP87 (Bretagnon et Francou, 1988), construites à partir de VSOP82, en variables rectangulaires et sphériques et exprimées dans divers systèmes de référence.
- Plus récemment les solutions VSOP200x (Moisson, 1999, Moisson et Bretagnon, 2001). Ces solutions ont été construites dans un cadre relativiste et prennent en compte les perturbations dues à Cérès, Pallas, Vesta, Iris et Bamberga. Les solutions VSOP200x ont été ajustées à DE403 (Standish et al., 1995), sur l'intervalle de temps [1890, 2000]. Enfin, ces solutions sont de très grande précision, au moins dix fois meilleures que les solutions VSOP82/87 sur un intervalle de temps de l'ordre de quelques dizaines d'années.

Or, même si les solutions VSOP200x sont ajustées à DE403, le repère de référence de VSOP ne correspond pas à celui de DE403. D'une part, la modélisation du problème dynamique n'est pas identique entre les deux éphémérides et d'autre part la réalisation du lien entre l'ICRS et le repère dynamique diffère de celle de DE403. Alors que le lien entre DE403 et l'ICRS est un lien établi via des données observationnelles exprimées dans l'ICRF (ce qui donne le caractère inertiel au raccordement), la définition de l'écliptique de VSOP est purement inertielle. En effet, le repère écliptique de VSOP est tel que les variables en inclinaison du barycentre Terre-Lune soient nulles à une date de référence. On choisira les valeurs d'obliquité et d'équinoxe dynamique à la date de référence à cet effet. Ainsi, le repère dynamique de VSOP2000 (Moisson, 1999 ; Bretagnon et al., 2003) est défini en utilisant les mêmes angles ϵ et ϕ que sur les figures 3.3.1 et 3.3.2. On trouvera les valeurs ainsi déterminées dans la table 3.3.2.

3.3.4. Conclusion

Les théories planétaires et lunaire permettent de définir un repère dans lequel évoluent les corps du système solaire à partir de la détermination de l'orbite héliocentrique du barycentre Terre-Lune. À cette orbite sont associées des théories de précession-nutation et des constantes fondamentales. Cet ensemble est appelé système de référence dynamique. Le repère de référence dynamique se caractérise par un équinoxe et un écliptique moyens à une époque de référence.

Il est possible de définir un nombre varié de systèmes de référence dynamiques. Les différences entre ces systèmes peuvent provenir des théories physiques utilisées (théories de précession et de nutation par exemple), mais aussi de la réalisation même du système. Ainsi VSOP donne une réalisation théorique du système alors que DE405 en donne une réalisation observationnelle.

3.4. LE SYSTÈME DE RÉFÉRENCE CÉLESTE INTERNATIONAL ICRS (International Celestial Reference System)

3.4.1. Une nouvelle conception : le système de référence cinématique

Au cours des quinze dernières années s'est produit une révision dans la définition et la réalisation des systèmes de référence, conséquence de l'application des techniques spatiales d'observation à l'astrométrie de haute précision et à la géodésie. Ces techniques étaient déjà utilisées vers la fin des années quatre-vingt pour réaliser les systèmes de référence utilisés dans les études de la rotation de la Terre. Parmi elles, l'interférométrie radio à très longue ligne de base (VLBI), permettait de réaliser au mieux un ensemble de directions fixes dans l'univers, et de donner accès à une meilleure réalisation d'un système de référence inertiel.

Un système de référence est une triade de directions devant vérifier une propriété générale donnée et qui sert à décrire position et mouvement. Un système d'axes de coordonnées est une notion abstraite car les axes ne sont pas accessibles directement ; il est donc nécessaire de matérialiser le système par un ensemble de points de référence dont les coordonnées (et éventuellement les mouvements) sont connues dans le système. Les concepts de système de référence et de repère de référence ont été formalisés par Kovalevsky et Mueller (1981). Le repère *primaire* de référence est constitué d'objets dont les coordonnées et les mouvements ont été déterminés par rapport aux axes du système de référence ; ainsi, il matérialise le système de référence et le rend accessible. Parfois, le nombre d'objets du repère primaire n'est pas suffisant pour certaines applications ; dans d'autres cas, la magnitude des objets du repère est trop faible pour qu'ils puissent être observés. Il faut donc disposer d'extensions de ce repère.

La propriété qui est à la base de la définition d'un système de référence dans l'espace est le caractère inertiel du système d'axes (*cf.* 3.3). Nous pouvons distinguer deux types de systèmes de référence selon qu'ils sont construits à partir d'une définition dynamique ou cinématique. Les systèmes de référence définis à partir des mouvements planétaires correspondent à la définition dynamique. Dans le cadre de la mécanique newtonienne les équations différentielles qui représentent les mouvements planétaires sont écrites dans un système pour lequel il n'y a pas de termes d'accélération de rotation. Dans le cadre de la relativité générale, le système de coordonnées est défini par la métrique qui décrit les propriétés de l'espace-temps ; par rapport à ce système, les équations décrivant les mouvements planétaires diffèrent des équations classiques d'un ordre relatif de 10^{-8} (*cf.* 3.2). Ces effets sont mis en évidence par les techniques d'observation les plus précises et doivent être considérés dans les éphémérides modernes. La faible précision des techniques classiques d'observation conduit à supposer qu'au delà du système solaire les coordonnées sont représentées dans un système de référence euclidien selon la physique newtonienne. En réalité, le système de directions qui s'étend au delà de notre système planétaire est dominé par la courbure provoquée par le champ de gravité de la Galaxie, et encore plus loin, par la distribution des masses et de l'énergie dans l'univers. Les observations avec la technique VLBI ont mis en évidence ces effets. Ces observations ont servi à réaliser des systèmes de référence basés sur une définition cinématique. Cette définition est, tant du point de vue conceptuel que du point de vue pratique,

plus simple que la définition dynamique : un ensemble de points de référence sans mouvement propre n'est affecté d'aucune rotation globale. La distance aux quasars et aux noyaux des galaxies lointaines permet de supposer que leurs mouvements propres seraient inférieures à $10^{-5}''/\text{an}$, même si les vitesses transversales étaient égales à leurs vitesses radiales d'éloignement (rappelons que les mouvements propres des étoiles sont de l'ordre de quelques $10^{-2}''/\text{an}$). Les observations VLBI ont confirmé que les objets extragalactiques représentent un excellent modèle de directions fixes dans l'univers, et par conséquent elles permettent de réaliser au mieux (à la précision actuelle des observations) un système de référence inertiel. Dans la définition dynamique la matérialisation du système est assurée par une théorie numérique ou analytique des éphémérides planétaires, et plus particulièrement de la Terre. Les éphémérides sont une des matérialisations du système dynamique ; les catalogues fondamentaux d'étoiles sont aussi des matérialisations de ce type de système ; tel est le cas des catalogues de la série FK. Dans la conception cinématique, les catalogues de coordonnées des radiosources extragalactiques observées avec la technique VLBI matérialisent le système de référence cinématique.

Les repères de référence déterminés par VLBI ont des caractéristiques métrologiques dérivées de la technique d'observation, des objets observés et des méthodes d'analyse et de réduction des observations. L'interférométrie à longue base présente des avantages par rapport aux techniques optiques d'observation puisque les données obtenues par VLBI sont peu sensibles aux conditions météorologiques. On peut donc organiser des sessions VLBI de 24h en ascension droite, sans avoir besoin de combiner des observations réalisées dans des sites différents avec des instruments différents ; on minimise ainsi les erreurs zonales. L'analyse de longues séries d'observations réalisées avec un réseau de stations VLBI distribuées à la surface de la Terre permet de construire une sphère rigide à partir des directions aux objets extragalactiques fixes. De nouvelles analyses sont menées lors de l'acquisition d'observations ou à l'occasion de progrès dans la modélisation, l'instrumentation ou dans les méthodes de réduction.

C'est grâce à la technique VLBI que des incohérences dans les modèles conventionnels de la précession et de la nutation de l'UAI ont été mises en évidence. Des corrections aux modèles ont été obtenues à partir des observations VLBI qui ont servi à réaliser le repère de référence extragalactique.

Dans la conception cinématique des systèmes de référence, les axes du système restent fixes, orientés selon les directions initiales. Le repère est susceptible d'être modifié, mais à condition que les axes implicitement définis par les objets de référence soient orientés selon les directions initiales. Nous trouvons ici une différence fondamentale par rapport aux systèmes de référence stellaires de nature dynamique : chaque catalogue de la série de FK matérialisait un système de référence dont les axes n'étaient pas alignés à ceux du précédent et il fallait donc connaître les paramètres de transformation entre les systèmes FK.

3.4.2. Les recommandations de l'UAI

En 1991, l'UAI a recommandé (vingt et unième assemblée générale, Buenos Aires) l'adoption d'un système de référence céleste conventionnel dont l'origine est le barycentre du système solaire et qui

soit matérialisé par les coordonnées des radiosources extragalactiques lointaines observées avec la technique VLBI. Par souci de cohérence, il a été aussi recommandé que les coordonnées temporelles soient obtenues en utilisant une échelle de temps atomique réalisée par des horloges atomiques sur la Terre, les unités de base étant la seconde du *Système International d'unités* (SI) pour le temps propre et le mètre du SI pour la longueur propre.

Le plan principal du nouveau système conventionnel devait être aussi proche que possible de l'équateur moyen J2000, l'origine sur le plan fondamental devant être cohérente avec l'équinoxe dynamique J2000. L'UAI a aussi recommandé la comparaison des repères de référence de tous types, et particulièrement entre le FK5, le repère dynamique planétaire et le repère de référence extragalactique.

Les vingt-deuxième et vingt-troisième assemblées générales de l'UAI (UAI, 1994 et UAI, 1997) ont recommandé l'adoption du système de référence céleste de l'IERS comme système de référence céleste international, sous l'acronyme ICRS (International Celestial Reference System), et sa matérialisation par la première réalisation du repère de référence céleste international, sous l'acronyme ICRF (International Celestial Reference Frame, Ma et al., 1997 et 1998).

3.4.3. Définition de l'ICRS

L'adoption d'un système de référence basé sur une définition cinématique implique un changement philosophique dans la conception des systèmes de référence célestes. Dans les définitions précédentes, les axes étaient donnés par la dynamique des mouvements de la Terre dans l'espace et ils étaient associés à l'équateur moyen et à l'équinoxe dynamique d'une époque de référence (B1950, J2000). Dans la définition actuelle, les axes du système restent fixes par rapport à des sources lointaines dans l'univers, et de plus, ils sont dissociés des plans de l'équateur et de l'écliptique. Pour assurer la continuité, les directions des axes du système dynamique en J2000 ont été choisies pour la nouvelle définition. Par conséquent, les axes de l'ICRS sont confondus avec ceux du FK5 (Fricke et al. 1988), au niveau des incertitudes de ce dernier.

L'origine des axes de l'ICRS est au barycentre du système solaire. Cette condition est assurée par la modélisation des observations VLBI dans le cadre de la relativité générale.

Le plan principal de l'ICRS a été défini par le plan de l'équateur donné par les modèles conventionnels UAI (1976) et UAI (1980) de la précession et de la nutation (Lieske et al., 1977 ; Seidelmann, 1982). Des analyses (Souhay et al., 1995 ; Charlot et al., 1995) ont montré que le pôle de l'ICRS est déplacé par rapport au pôle moyen en J2000 de moins de 20 mas. Ceci indique que l'équateur moyen en J2000 et le plan principal de l'ICRS sont en accord. Afin de suivre les recommandations de l'UAI, la direction du pôle céleste de l'ICRS doit être aussi proche que possible de celle du système FK5. On estime que l'incertitude de la direction du pôle moyen J2000 du FK5 est de ± 50 mas (Fricke, 1982 ; Schwann, 1988 ; Fricke et al., 1988). Ceci prouve que le pôle céleste de l'ICRS est confondu avec celui du système FK5 au niveau de l'incertitude de ce dernier.

L'UAI a recommandé que l'origine des ascensions droites de l'ICRS soit proche de l'équinoxe dynamique J2000. Dans l'analyse VLBI, il n'est pas possible de séparer l'origine des ascensions droites, de la longitude de la ligne de base de l'interféromètre car l'origine des ascensions droites

n'est pas fixée. L'axe Ox du système ICRS a été fixé implicitement dans sa première réalisation par l'adoption des ascensions droites des vingt-trois radiosources extragalactiques primaires (Arias et al., 1988). Ces coordonnées ont été dérivées d'un ensemble de catalogues VLBI compilés en adoptant pour l'ascension droite du quasar 3C273B la valeur de Hazard et al. (1971) dans le système FK5 (12h 29m 06.6997s en J2000).

La position de l'équinoxe dynamique dans le système ICRS a été déterminée par Folkner et al. (1994). Ils ont établi le rattachement entre l'ICRS et le système dynamique du Jet Propulsion Laboratory par comparaison des repères terrestres et des paramètres d'orientation de la Terre obtenus avec VLBI et LLR. Ils ont obtenu un écart de 78 ± 10 mas entre l'axe Ox de l'ICRS et l'équinoxe moyen de l'époque J2000. Tenant compte de l'incertitude de l'origine des ascensions droites (voir, par exemple, Morrison et al., 1990), on peut affirmer que l'origine des ascensions droites de l'ICRS est confondue avec celle du FK5 dans la limite de l'incertitude de ce dernier.

3.4.4. Maintenance de l'ICRS

La maintenance d'un système de référence peut se concevoir de deux manières :

- soit les coordonnées des objets dans le repère sont considérées comme pérennes, et leurs valeurs numériques restent fixes pendant quelques années (c'est la philosophie de la conception du système FK5),
- soit les axes du système restent fixes dans leurs directions initiales, mais les coordonnées des objets du repère de référence sont recalculées et modifiées si nécessaire, par exemple lors de l'introduction de nouveaux objets (c'est le principe qui est à la base de l'ICRS).

Le repère de référence qui matérialise l'ICRS peut être modifié si l'on dispose des meilleures positions des sources radio extragalactiques, à condition d'appliquer une contrainte de non-rotation globale par rapport à la réalisation précédente. Cette procédure assure que les axes sont toujours dans leurs directions initiales, et permet que le repère soit densifié ou qu'il devienne plus précis.

3.4.5. Accessibilité à l'ICRS

L'accès direct le plus précis à l'ICRS est donné par les observations VLBI. Cette technique est limitée à des utilisateurs dans le domaine des fréquences radio. Le VLBI est utilisé pour la maintenance du système. L'accès de l'ICRS à tous types d'utilisateurs doit être assuré grâce au rattachement de l'ICRF aux repères de référence majeurs, tels que le FK5, le repère de référence du satellite Hipparcos, les éphémérides planétaires, le repère de référence terrestre conventionnel.

Tel qu'il a été recommandé par l'UAI, le repère de référence Hipparcos est la matérialisation de l'ICRS dans les fréquences optiques (Kovalevsky et al., 1997). Le rattachement entre le repère de référence VLBI et le repère Hipparcos a fait partie du programme Hipparcos.

Les éphémérides planétaires et lunaires sont orientées sur l'ICRS. Des études réalisées par Folkner et al. (1994) montrent que le raccordement entre l'ICRF et le repère dynamique défini à partir des éphémérides planétaires du JPL est connu à mieux que ± 3 mas.

Les paramètres d'orientation de la Terre calculés par l'IERS permettent d'établir le rattachement entre l'ICRF et le système de référence terrestre international ITRS (International Terrestrial Reference System). On se reportera au paragraphe 4.4 pour plus de détails.

3.4.6. Le repère de référence céleste international ICRF

La première réalisation du repère de référence céleste international fut adoptée par l'UAI à sa vingt-troisième assemblée générale (1997), sous l'acronyme ICRF. Il s'agit d'un catalogue fondamental qui a, par rapport à ses prédécesseurs, la caractéristique de ne pas être lié aux plans de l'équateur et de l'écliptique.

Des sources radio extragalactiques de différentes qualités astrométriques constituent l'ICRF. Les directions des axes sont définies par un groupe de sources appelées *sources de définition*; d'autres sources, de moindre qualité, sont incluses pour densifier le repère et pour permettre son rattachement à d'autres repères de référence, notamment celui du catalogue Hipparcos.

L'ICRF (Ma et al. 1997 et 1998) est le résultat de l'analyse de toutes les observations VLBI disponibles sur la période 1979-1995. Les analyses VLBI qui ont servi à l'établissement de l'ICRF ont été effectuées afin de trouver un bon compromis entre des objectifs parfois divergents : le plus grand nombre de données et l'erreur systématique la plus faible possible, les meilleurs modèles et l'utilisation pratique la plus simple, le plus grand nombre de paramètres estimés et le temps de calcul. Les vitesses de retard sont introduites dans l'analyse. Les observations en dessous de 6° de hauteur sont rejetées. Le modèle linéaire de troposphère est complété par l'estimation de gradients. En ce qui concerne la position du pôle céleste, des corrections aux modèles UAI 1976 de la précession et UAI 1980 de la nutation ont été apportées dans l'analyse.

Des études préliminaires ont permis de détecter les sources les plus adaptées pour définir l'orientation des axes du repère. Dans un cas idéal, avec un grand nombre de données, ces sources ne doivent pas présenter de changement de position. Pour classer les sources radio de l'ICRF, des critères ont été définis en fonction de la qualité des données, l'historique des observations, la cohérence entre les coordonnées dérivées des différents sous-ensembles de données et les effets de structure radio des sources.

Une source radio doit satisfaire les quatre critères pour servir à la définition (et maintenance) des axes du système.

- 1) Concernant l'historique des observations, on demande un minimum de vingt observations sur un intervalle supérieur à deux ans.
- 2) Les incertitudes en ascension droite et en déclinaison doivent être inférieures à 1 mas.
- 3) D'autres solutions VLBI ont été calculées avec des données acquises par des réseaux de stations différents et analysées avec des logiciels différents. Ces solutions indépendantes ont été comparées à la solution qui a servi de base à l'ICRF après avoir enlevé leurs orientations relatives. Les objets

dont les différences de coordonnées étaient supérieures à 0.5 mas, ou pour lesquels la différence avec la solution de base dépassait 3σ (σ étant l'incertitude de la solution pour l'ICRF) n'ont pas été retenus comme sources de définition.

4) En ce qui concerne la structure, plusieurs tests ont été utilisés. D'une part, une variation temporelle dans la structure de la source se manifeste comme un déplacement de son centre d'émission ; on peut donc la détecter en calculant les variations de ses coordonnées avec le temps que l'on peut interpréter comme un mouvement propre apparent. D'autre part, il a été montré que la correction de structure calculée à partir de cartes ne doit pas dépasser 10 picosecondes. Fey et Charlot (1997) ont développé des méthodes de détermination des effets de structure et ont établi des indices pour quantifier ces effets.

Le nombre total de sources radio extragalactiques dans la première réalisation de l'ICRF est 608. Deux cent douze sources ont satisfait tous les critères de sélection pour être dans la catégorie *sources de définition*. Deux cent quatre-vingt-quatorze sources n'ayant pas satisfait à un ou plusieurs critères sont des *sources candidates*. Elles pourraient devenir des sources de définition dans le futur. Cent deux sources ont montré d'importants changements dans leurs positions. Elles ont été néanmoins conservées dans le repère comme *autres sources*, quelques unes étant nécessaires pour rattacher l'ICRS avec d'autres systèmes de référence. La plupart des sources de définition de l'ICRF ont des incertitudes inférieures à 0.5 mas. L'analyse VLBI appliquée au calcul des coordonnées des sources de l'ICRF a donné des positions dans un système très proche de l'ICRS. La partie finale de l'établissement du repère conventionnel est son alignement à l'ICRS. Pour effectuer cet alignement on a utilisé un modèle basé sur celui qui a été développé à l'IERS pour la comparaison de catalogues VLBI (Arias et al., 1988). L'analyse de l'orientation du système quand on considère des ensembles différents de sources radio indique que les axes de l'ICRS sont stables au niveau de 0.020 mas.

3.4.7. Extensions de l'ICRF

Le processus de maintenance de l'ICRS prévoit des améliorations du repère chaque fois qu'elles sont justifiées par un progrès dans la précision des coordonnées, de même que par une augmentation du nombre de sources dans le repère. Deux extensions de l'ICRF existent déjà. Elles ont été élaborées par le même groupe d'experts qui a calculé la première réalisation du repère de référence céleste international.

Les deux extensions de l'ICRF ont eu pour objectif de densifier l'ICRF avec l'apport de coordonnées de nouvelles sources au repère. Les sources de définition, de même que leurs coordonnées, restent celles de l'ICRF. La première extension de l'ICRF, ICRF-Ext.1 a été élaborée en 1998 et elle ajoute les coordonnées de cinquante neuf nouvelles sources au repère (IERS, 1999). La deuxième extension, ICRF-Ext.2 (Fey et al., 2004) est une révision du repère qui le densifie avec les positions de cent neuf sources radio.

3.4.8. Futur de l'ICRS

Suivant les recommandations de l'UAI, les programmes astrométriques et géodésiques d'observation VLBI incluent des sources radio dans la maintenance de l'ICRF. Des observations de VLBA (Very Long Baseline Array) peuvent être utilisées afin de mieux connaître la structure des sources radio et la densification du repère. Par ailleurs, il y a eu un progrès significatif dans la connaissance des changements des positions des radiosources. Des analyses menées par Feissel-Vernier (2002) ont conclu qu'il est possible de raffiner la sélection des sources radio stables pour conserver l'orientation des axes du système, si aux critères appliqués pour le choix des sources de définition de l'ICRF on ajoute des analyses statistiques sur les séries temporelles des coordonnées des sources radio. Sur la base de cette sélection, Arias et Bouquillon (2004) ont montré qu'avec l'ensemble de sources de Feissel-Vernier les axes de l'ICRS deviennent plus stables. Tenant compte de ces améliorations, il est fort probable qu'une nouvelle version de l'ICRF soit élaborée dans un futur proche.

L'extension de l'ICRF à d'autres fréquences est un besoin permanent. Elle ne pourra se faire qu'avec l'ajout d'observations réalisées dans des fréquences autres qu'optiques et radio, dans des programmes astrométriques de routine. Le catalogue stellaire Hipparcos réalise l'ICRS dans les fréquences optiques. En raison des incertitudes dans les mouvements propres stellaires, il est nécessaire aussi de réaliser des opérations de maintenance sur le rattachement optique-radio. Des grands projets d'astrométrie spatiale vont sans doute y contribuer. SIM (Space Interferometry Mission) a pour objectif d'étendre les mesures de distance à des objets plus lointains et de faibles magnitudes. Ce projet, qui devrait durer cinq ans, compte mesurer 10^5 objets jusqu'à la magnitude 20 avec une exactitude de 4 micro-secondes de degré pour les parallaxes et 1-2 micro-secondes de degré pour les mouvements propres annuels. GAIA (Global Astrometry Interferometer for Astrophysics) peut être considérée comme une extension de la mission Hipparcos, les deux ont les mêmes caractéristiques en ce qui concerne le concept d'astrométrie globale. Le projet prévoit l'observation de 10^9 étoiles, et ses objectifs concernent des applications astrométriques et astrophysiques. La prochaine décennie nous permettra d'utiliser ces nouvelles observations.

3.5. LE SYSTÈME INTERNATIONAL DE RÉFÉRENCE TERRESTRE ITRS

3.5.1. Introduction

La géodésie, science de la forme de la Terre et de ses déformations, repose sur le positionnement de points à la surface de la Terre ou dans son environnement immédiat. La détermination des positions nécessite en premier lieu des mesures (ou observations) utilisant des techniques classiques (terrestres) ou spatiales et faisant appel à des objets célestes, artificiels ou naturels. En second lieu, les mesures sont traitées par des modèles mathématiques et physiques, permettant ainsi la détermination des coordonnées des points. Les coordonnées ainsi obtenues sont donc des quantités ni observables, ni absolues et doivent par conséquent être rapportées à une référence. C'est ainsi qu'on appelle *Système de Référence Terrestre* (SRT), un objet mathématique, satisfaisant

une définition idéale et, dans lequel les coordonnées des points seront exprimées. Pour réaliser ce système, c'est-à-dire le rendre accessible aux utilisateurs, on définit un *Repère de Référence Terrestre* (RRT) comme matérialisation physique du SRT. La distinction entre "système de référence" et "repère de référence" est donc subtile, le premier étant plutôt invariable et inaccessible, le deuxième étant accessible et perfectible.

L'utilisation des techniques spatiales depuis une vingtaine d'années a bouleversé les techniques de positionnement à la surface de la Terre. Les incertitudes initialement de l'ordre du décimètre sont maintenant de l'ordre du centimètre, voire de quelques millimètres. Toutefois, chaque technique et chaque stratégie d'analyse définit et réalise son propre système. Ainsi, assiste-t-on à des réalisations diverses de systèmes de référence, présentant des biais et systématismes les uns par rapport aux autres. Ce constat a conduit les instances internationales et en particulier l'UAI, l'UGGI et l'Association Internationale de Géodésie (AIG) à adopter, en 1991, l'ITRS (International Terrestrial Reference System) comme système de référence terrestre unique, pour toutes les applications relatives aux sciences de la Terre.

La réalisation de l'ITRS, appelée ITRF (International Terrestrial Reference Frame), par les techniques modernes de géodésie spatiale a été confiée à l'IERS, créé en 1988. L'IERS est en charge de trois références globales : l'ITRS, l'ICRS et la rotation de la Terre qui relie les deux systèmes.

Le principe de l'ITRF est de combiner les positions de stations (et leurs vitesses), calculées par différents centres d'analyse en utilisant les observations des techniques spatiales telle que l'interférométrie à très longues lignes de base (VLBI), la télémétrie laser de la Lune (LLR) et de satellites (SLR, Satellite Laser Ranging), le Global Positioning System (GPS) et le Doppler Orbitography Radio-positioning Integrated by Satellite (DORIS).

3.5.2. Concepts et définitions des systèmes de référence terrestres

Un SRT est un système de référence spatial tournant avec la Terre dans son mouvement diurne dans l'espace. Dans ce système, les points localisés sur la surface de la Terre solide possèdent des coordonnées sujettes à des variations temporelles, dues à des effets géophysiques (en particulier tectoniques ou de marées terrestres et océaniques). Le SRT n'étant théoriquement pas accessible, on lui associe une réalisation physique, appelée RRT, défini par un ensemble de points physiques ayant des coordonnées estimées (cartésiennes, géographiques ou cartographiques) et exprimées dans le SRT.

Afin de suivre la terminologie adoptée depuis une vingtaine par les communautés géodésique et astronomique (Kovalevsky et Mueller, 1989 ; Boucher, 2001) on distingue trois types de systèmes de référence terrestres : le système de référence idéal, le système de référence conventionnel et le repère de référence conventionnel.

Un *système de référence conventionnel* est défini par l'ensemble de conventions, paramètres constants et algorithmes qui influence la détermination des coordonnées des points.

Un *repère de référence conventionnel* est défini par un ensemble de points physiques avec leur coordonnées et qui constitue une réalisation physique d'un système de référence idéal.

Un *système de référence idéal* est modélisé par un repère affine (O, E) dans un espace euclidien orthogonal où, O , l'origine, est un point quelconque de l'espace et E est une base orthogonale vérifiant :

$$\lambda = \|\mathbf{E}_i\|_{i=1,2,3} \quad (3.5.1)$$

avec $\mathbf{E}_i \cdot \mathbf{E}_j = \lambda^2 \delta_{ij}$.

λ est l'unité de longueur des vecteurs origine de la base exprimée en mètres (SI) et δ_{ij} est le symbole de Kronecker.

Dans le cadre des activités géodésiques internationales et en particulier à l'IERS, on considère un système géocentrique où l'origine est le centre des masses de la Terre et où l'orientation est équatoriale (l'axe Oz est orienté selon la direction des pôles).

La transformation générale des coordonnées cartésiennes permettant de passer d'un SRT 1 à un SRT 2 est donnée par une similitude tridimensionnelle telle que :

$$X_2 = T + \lambda \mathcal{R} X_1 \quad (3.5.2)$$

où T est le vecteur translation, λ l'échelle et \mathcal{R} une rotation se décomposant en trois rotations selon les axes Ox , Oy , Oz :

$$\mathcal{R}_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos R1 & \sin R1 \\ 0 & -\sin R1 & \cos R1 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{R}_y = \begin{pmatrix} \cos R2 & 0 & -\sin R2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R2 & 0 & \cos R2 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{R}_z = \begin{pmatrix} \cos R3 & \sin R3 & 0 \\ -\sin R3 & \cos R3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

L'équation (3.5.2) permet la linéarisation de la relation standard de transformation entre deux systèmes de référence ainsi que sa dérivée par rapport au temps. C'est une similitude euclidienne à sept paramètres : trois translations, un facteur d'échelle et trois rotations, notés respectivement $T1, T2, T3, D, R1, R2, R3$ et leur dérivées : $\dot{T}1, \dot{T}2, \dot{T}3, \dot{D}, \dot{R}1, \dot{R}2, \dot{R}3$. La transformation d'un vecteur coordonnées X_1 exprimé dans un système de référence 1 en un vecteur X_2 exprimé dans le système de référence 2 est donnée par la formule (3.5.3), supposée linéaire pour des jeux de coordonnées issus des techniques de géodésie spatiale (les différences d'origine sont de quelques centaines de mètres, et celles d'échelle et d'orientation sont inférieures à 10^{-5} ⁽¹⁾) :

$$X_2 = X_1 + T + DX_1 + RX_1 \quad (3.5.3)$$

⁽¹⁾ les termes du 2ème ordre, négligés dans ce modèle, sont, au maximum, de l'ordre de 10^{-10} , soit 0.6 mm.

avec :

$$T = \begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix}, \quad \lambda = 1 + D, \quad \mathcal{R} = (I + R) \quad \text{et} \quad R = \begin{pmatrix} 0 & -R3 & R2 \\ R3 & 0 & -R1 \\ -R2 & R1 & 0 \end{pmatrix}$$

où I est la matrice unité.

En général, X_1 , X_2 , T , D et R sont fonction du temps. En différenciant la relation (3.5.3) par rapport au temps, nous avons donc :

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + DX_1 + \dot{R}X_1 + RX_1 \quad (3.5.4)$$

D et R étant de l'ordre de 10^{-5} et \dot{X} de l'ordre de 10 cm par an, on négligera les termes DX_1 et RX_1 qui sont de l'ordre de 0.1 mm sur 100 ans. L'équation (3.5.4) peut donc s'écrire :

$$\dot{X}_2 = \dot{X}_1 + \dot{T} + \dot{D}X_1 + \dot{R}X_1 \quad (3.5.5)$$

3.5.3. Réalisation d'un système de référence terrestre

On distingue essentiellement deux grands types de réalisation de systèmes de référence :

- réalisation à partir des mesures d'une seule ou de plusieurs techniques de géodésie spatiale
- réalisation par combinaison de repères de référence terrestres fournis par les techniques spatiales

3.5.3.1. Réalisation à partir des mesures des techniques de géodésie spatiale

D'une manière générale, sept paramètres sont nécessaires pour définir un RRT à une époque donnée. On ajoute leurs dérivées par rapport au temps pour définir l'évolution temporelle du RRT. La sélection de ces quatorze paramètres permet de définir le RRT en termes d'origine, échelle, orientation et évolution temporelle.

Les techniques de géodésie spatiale ne sont pas toutes sensibles à tous les paramètres de définition du RRT. L'origine étant le centre des masses (point autour duquel le satellite gravite) est théoriquement accessible par les techniques dynamiques (LLR, SLR, GPS, DORIS). L'échelle dépend de certains paramètres physiques (tels que la constante gravitationnelle GM et la vitesse de la lumière c) et des effets relativistes. Une variation temporelle de l'échelle n'a en principe pas de sens physique, on constate cependant numériquement des variations en comparant certains RRT entre eux. L'orientation et sa variation temporelle, non observables, sont arbitrairement ou conventionnellement définies. Il est cependant recommandé de définir l'évolution temporelle de l'orientation par une condition de non-rotation globale par rapport aux mouvements horizontaux sur la surface de la Terre.

Les observations des techniques de géodésie spatiale ne contenant pas tous les paramètres nécessaires pour établir un RRT, des informations externes supplémentaires sont donc nécessaires

pour compléter la définition du RRT. Cette situation est reflétée par le fait que la matrice normale, N , construite à partir des observations, est singulière, puisqu'elle a un défaut de rang correspondant au nombre de paramètres du repère non réduits par les observations.

Afin de pallier ce défaut de rang, les centres d'analyse cumulent des contraintes appliquées sur une partie ou sur l'ensemble des stations du réseau traité :

1. *Contraintes d'égalité.* Ce sont des solutions pour lesquelles les positions et vitesses des stations sont contraintes à des valeurs externes à une incertitude (σ) près. L'équation d'observation correspondante peut s'écrire sous la forme suivante :

$$X - X_0 = 0 \quad (\sigma) \quad (3.5.6)$$

où X est le vecteur des paramètres estimés (positions et/ou vitesses) et X_0 est celui des paramètres a priori. Il y a cependant 3 types de contraintes d'égalité :

- contraintes détachables où les incertitudes (σ) sont de l'ordre de 10^{-5} m pour les positions (respectivement m/an pour les vitesses). Elles portent ce nom car elles peuvent être numériquement dissociées de la solution (si la matrice de contraintes est connue) et être remplacées par des contraintes minimales (voir ci-dessous)
- contraintes lâches où les incertitudes sont $\sigma \geq 1$ m pour les positions et ≥ 10 cm/an pour les vitesses.
- contraintes fortes ($\sigma \leq 10^{-10}$ m) qui sont numériquement difficiles à enlever et qui altèrent probablement la qualité des paramètres estimés.

2. *Contraintes minimales.* Elles servent uniquement à définir le RRT avec un minimum d'information. Ce sont des contraintes appliquées non pas sur les paramètres estimés mais sur les paramètres définissant le RRT (origine, échelle, orientation). Pour plus de détails sur les concepts et l'utilisation des contraintes minimales, voir par exemple, (Sillard et Boucher, 2001) et (Altamimi et al., 2001, 2003b).

L'équation de contraintes minimales de base a la forme :

$$B(X - X_0) = 0 \quad (3.5.7)$$

où $B = (A^T A)^{-1} A^T$ et A est la matrice modèle des dérivées partielles, construite sur les valeurs a priori (X_0). Elle est donnée par :

$$A = \begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & 0 & x_0^i & 0 & z_0^i & -y_0^i \\ 0 & 1 & 0 & y_0^i & -z_0^i & 0 & x_0^i \\ 0 & 0 & 1 & z_0^i & y_0^i & -x_0^i & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \quad (3.5.8)$$

dans le cas où seulement les positions des stations sont estimées, ou :

$$A = \begin{pmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & 0 & x_i^0 & 0 & z_i^0 & -y_i^0 & & & & & & & \\ 0 & 1 & 0 & y_i^0 & -z_i^0 & 0 & x_i^0 & & & & \approx 0 & & & \\ 0 & 0 & 1 & z_i^0 & y_i^0 & -x_i^0 & 0 & & & & & & & \\ & & & \approx 0 & & & & 1 & 0 & 0 & x_i^0 & 0 & z_i^0 & -y_i^0 \\ & & & & & & & 0 & 1 & 0 & y_i^0 & -z_i^0 & 0 & x_i^0 \\ & & & & & & & 0 & 0 & 1 & z_i^0 & y_i^0 & -x_i^0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (3.5.9)$$

dans le cas où les positions et les vitesses sont estimées simultanément.

La distinction fondamentale entre les deux approches est que dans l'équation (3.5.6), l'inconnue X est contrainte à être égale à X_0 , alors que dans l'équation (3.5.7), X est exprimée dans le même RRT X_0 , en utilisant le projecteur B qui contient toute l'information nécessaire à définir le RRT sous-jacent. Notons cependant que les deux approches sont sensibles à la configuration et à la qualité des stations (X_0) utilisées dans ces contraintes. En terme d'équation normale, l'équation (3.5.7) peut s'écrire sous la forme :

$$(B^T \Sigma_\theta^{-1} B)X = (B^T \Sigma_\theta^{-1} B)X_0 \quad (3.5.10)$$

où Σ_θ est une matrice diagonale contenant des variances assez petites (de l'ordre du mm) pour chacun des paramètres de transformation. Le cumul de l'équation (3.5.8) à la matrice normale, N , permet donc son inversion et, dans le même temps, exprime la solution estimée dans le même RRF que la solution a priori X_0 . Il faut cependant souligner que les sept colonnes de la matrice A correspondent aux sept paramètres de fixation du RRF (trois translations, un facteur d'échelle et trois rotations). A doit être réduite aux seuls paramètres manquants non réduits par les observations (i.e. trois rotations dans toutes les techniques et trois translations dans le cas de la technique VLBI).

3.5.3.2. Réalisation par combinaison de repères de référence individuels

La combinaison de repères de référence terrestres issus de traitement des observations des techniques de géodésie spatiale est basée sur la relation fondamentale de transformation entre deux RRT des équations (3.5.3) et (3.5.5).

On suppose que pour chaque solution individuelle s , et chaque point i , nous avons la position X_s^i à une époque t_s^i et la vitesse \dot{X}_s^i , exprimées dans un RRT k .

La combinaison consiste en l'estimation :

- des positions X_c^i à une époque donnée t_0 et des vitesses \dot{X}_c^i exprimées dans le RRT combiné c .
- des paramètres de transformation T_k à une époque t_k et leurs dérivées par rapport au temps \dot{T}_k , du RRT combiné vers chaque RRT individuel.

Un modèle général de combinaison de positions et vitesses de stations peut s'écrire sous la forme :

$$\begin{aligned}
X_s^i &= X_c^i + (t_s^i - t_0)\dot{X}_c^i + T_k + D_k X_c^i + R_k X_c^i \\
&\quad + (t_s^i - t_k) \left[\dot{T}_k + \dot{D}_k X_c^i + \dot{R}_k X_c^i \right] \\
\dot{X}_s^i &= \dot{X}_c^i + \dot{T}_k + \dot{D}_k X_c^i + \dot{R}_k X_c^i
\end{aligned} \tag{3.5.11}$$

Le modèle de combinaison ci-dessus peut être étendu pour inclure les paramètres de rotation de la Terre (PRT). L'introduction des PRT dans le modèle de combinaison est gouvernée par les équations suivantes, faisant intervenir les coordonnées du pôle x_s^p , y_s^p et le Temps universel UT_s ainsi que leurs variations journalières \dot{x}_s^p , \dot{y}_s^p et LOD_s :

$$\begin{aligned}
x_s^p &= x^p + R2_k \\
y_s^p &= y^p + R1_k \\
UT_s &= UT - \frac{1}{f} R3_k \\
\dot{x}_s^p &= \dot{x}^p + \dot{R}2_k \\
\dot{y}_s^p &= \dot{y}^p + \dot{R}1_k \\
LOD_s &= LOD + \frac{\Lambda_0}{f} \dot{R}3_k
\end{aligned} \tag{3.5.12}$$

où $f = 1.002737909350795$ est le facteur de conversion de temps universel en temps sidéral. Considérant $LOD = -\Lambda_0 \frac{dUT}{dt}$, Λ_0 est homogène à dt ($\Lambda_0 = 1$ jour en unité temps).

Il faut noter que le lien entre les PRT et le RRT est assuré par les trois angles de rotation $R1$, $R2$, $R3$, et leurs variations par rapport au temps $\dot{R}1$, $\dot{R}2$, $\dot{R}3$. Par conséquent les PRT sont gouvernés par le repère combiné, de sorte que s'il y a un biais dans la définition ou l'établissement du RRT combiné il se répercutera sur les PRT eux-mêmes. Il est de ce fait nécessaire d'assurer la stabilité de l'orientation du RRT dans le temps.

3.5.4. Le Système International de Référence Terrestre ITRS

3.5.4.1. Historique

L'historique de l'ITRS remonte à 1984, quand pour la première fois un RRT combiné, appelé BTS84 a été obtenu en utilisant des coordonnées de stations issues des observations VLBI, LLR, SLR et Doppler/ TRANSIT (le prédécesseur de GPS), (Boucher et Altamimi, 1985). Le BTS84 a été réalisé dans le cadre des activités du Bureau International de l'Heure jouant le rôle de centre de coordination pour la campagne internationale MERIT (Monitoring of Earth Rotation and Inter-comparison of Techniques). Trois autres réalisations du BTS ont été successivement établies, la dernière étant le BTS87, avant la création, en 1988, de l'IERS.

Depuis, dix versions de l'ITRF ont été publiées, la première étant l'ITRF88 et la dernière, l'ITRF2000, chaque nouvelle version améliorant la précédente.

3.5.4.2. Définition de l'ITRF

De l'ITRF88 à l'ITRF93, la définition du RRT est résumée comme suit :

- L'origine et l'échelle sont définies par une moyenne de certaines solutions SLR.
- L'orientation est définie par des alignements successifs, depuis le BTS87 dont l'orientation a été alignée aux séries des paramètres d'orientation de la Terre (EOP) du BIH. Il est à noter cependant que l'orientation du BTS87 ainsi que son évolution temporelle ont à nouveau été alignées sur les EOP de l'IERS.
- L'évolution temporelle en orientation : pour l'ITRF88 et l'ITRF89, il n'y avait pas de champ de vitesses estimé, le modèle de mouvement des plaques tectoniques AM0-2 (Minster et Jordan, 1978) a été utilisé comme référence. À partir de l'ITRF91 jusqu'à l'ITRF93, des champs de vitesses combinés ont été estimés. L'évolution temporelle en orientation de l'ITRF91 a été alignée au modèle NNR-NUVEL-1 (Argus et al., 1991), celle de l'ITRF92 au modèle NNR-NUVEL-1A, alors que celle de l'ITRF93 a été alignée aux séries EOP de l'IERS.

Depuis l'ITRF94, les matrices de variance complètes des solutions individuelles introduites dans les combinaisons ITRF ont été utilisées. La fixation du RRT ITRF94 a été réalisée de la manière suivante :

- L'origine est une moyenne pondérée de certaines solutions SLR et GPS.
- l'échelle est une moyenne pondérée de certaines solutions VLBI, SLR et GPS. Elle a été ensuite corrigée par un facteur d'échelle ($1 + 0.7 \times 10^{-9}$) afin d'être en accord avec les résolutions de l'UGGI et de l'UAI, adoptant l'échelle de temps TCG, au lieu de l'échelle de temps TT utilisée par les centres d'analyse (*cf.* chapitre 2).
- L'orientation est alignée à l'ITRF92.
- L'évolution temporelle est définie en alignant le champ de vitesses de l'ITRF94 au modèle NNR-NUVEL-1A, sur les sept dérivées des paramètres de transformation.

L'ITRF96 a ensuite été aligné à l'ITRF94, et l'ITRF97 à l'ITRF96, sur les quatorze paramètres de transformation.

Le réseau ITRF a progressivement augmenté en nombre de sites et en particulier ceux en colocalisations. La figure 3.5.1 montre le réseau ITRF88 ayant une centaine de sites et vingt-deux colocalisations (VLBI/SLR/LLR), et l'ITRF2000 contenant près de cinq cents sites et une centaine de colocalisations.

La précision des positions de stations ITRF et de leurs vitesses est devenue meilleure, grâce aux améliorations apportées par les centres d'analyses et la réalisation par combinaison de l'ITRF. La figure 3.5.2. représente les erreurs sphériques formelles en positions et en vitesses, comparant ITRF94, 96, 97, et ITRF2000.

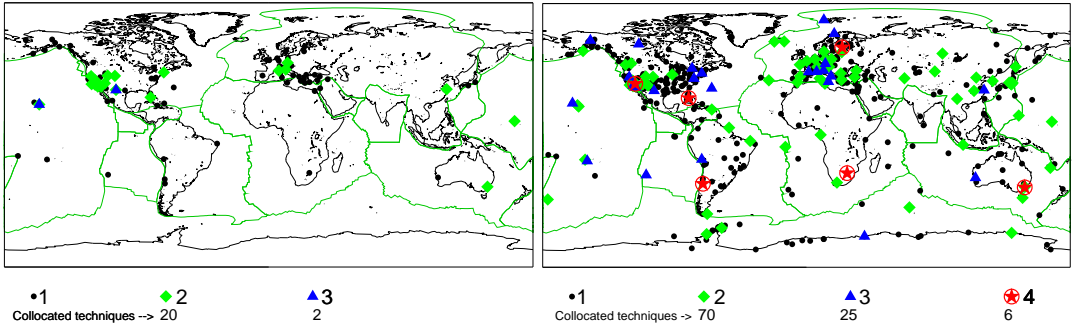


Fig. 3.5.1. Les sites et colocalisations ITRF88 (gauche) et ITRF2000 (droite).

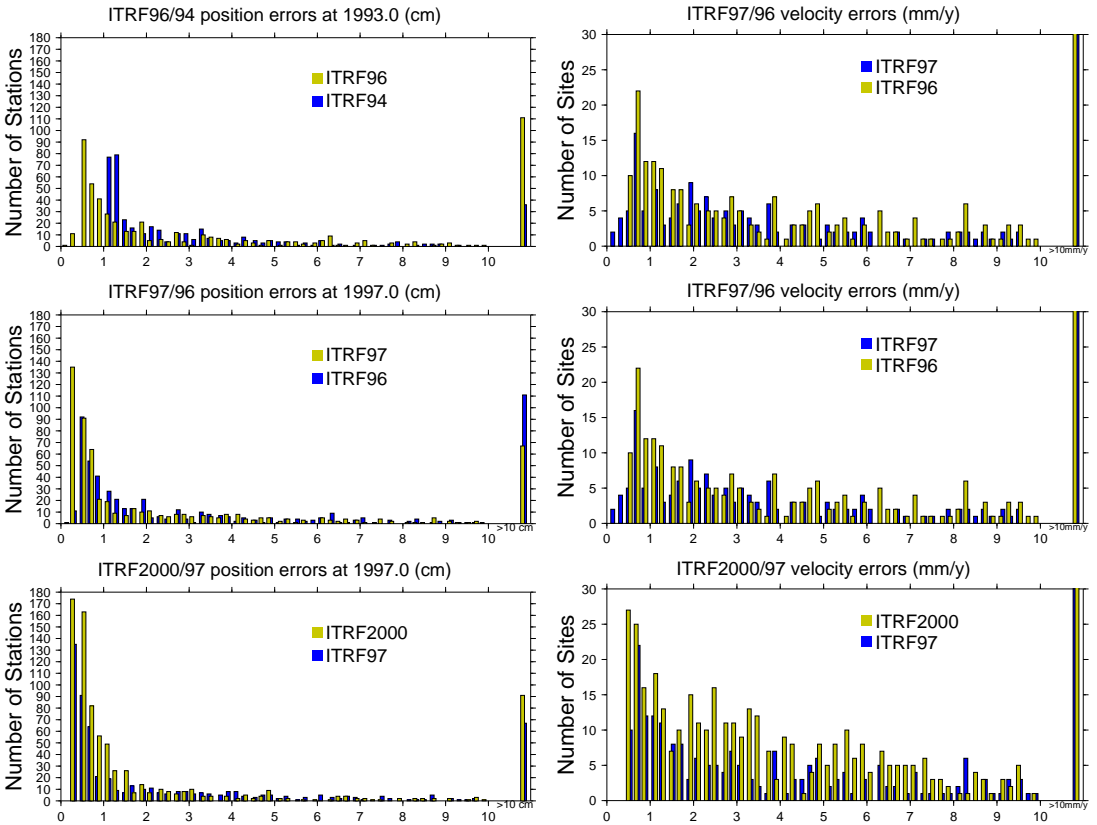


Fig. 3.5.2. Évolution des erreurs formelles selon les versions ITRF en positions (gauche) et en vitesses (droite)

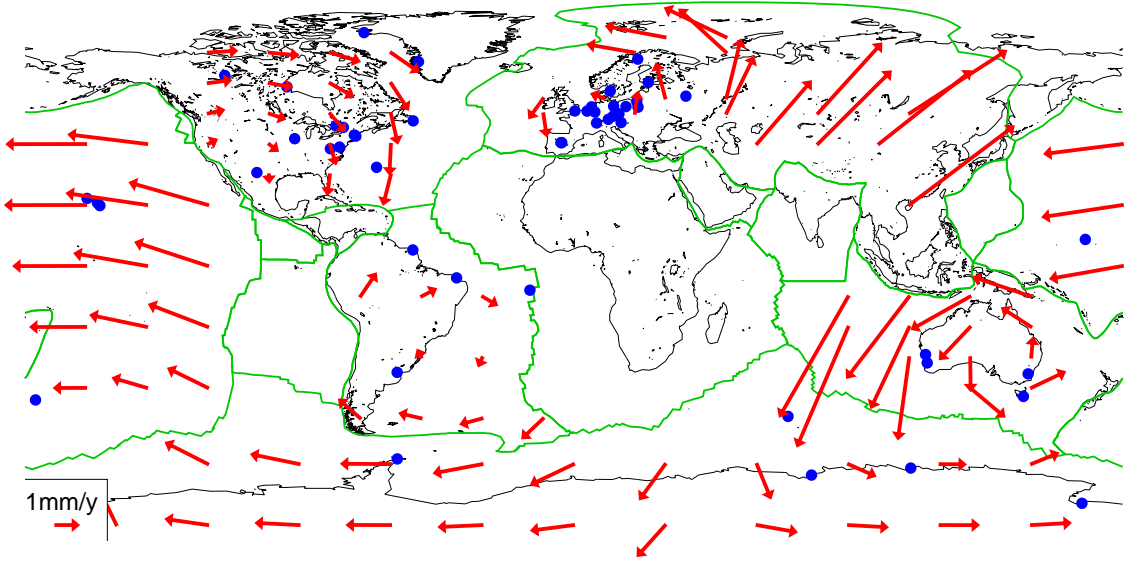


Fig. 3.5.3. Différences des vitesses entre l'ITRF2000 et le modèle NNR-NUVEL-1A

3.5.5. L'ITRF2000

Actuellement, l'ITRF2000 représente la version courante de l'ITRF.

L'ITRF2000 est une solution étendue et améliorée dans le but de servir de référence à la fois pour le positionnement et les applications aux sciences de la Terre. En plus des sites primaires, VLBI, SLR, GPS et DORIS, l'ITRF2000 comprend une densification par des réseaux GPS régionaux en Alaska, Antarctique, Asie, Europe, Amérique et dans le Pacifique.

Les solutions individuelles utilisées dans la combinaison ITRF2000 sont libres de toute contrainte externe. Les contraintes de définition de repère de référence sont détachables, lâches ou minimales.

En terme de définition du repère, l'ITRF2000 se caractérise par les propriétés suivantes :

- L'origine est obtenue en fixant à zéro les translations et leurs dérivées entre l'ITRF2000 et une moyenne pondérée de cinq solutions SLR.
- L'échelle est obtenue par une moyenne pondérée des cinq solutions SLR et de trois solutions VLBI. Contrairement à l'échelle de l'ITRF97 compatible avec le TCG, l'ITRF2000 est compatible avec le TT.
- L'orientation est obtenue en alignant les angles de rotation à ceux de l'ITRF97 à l'époque 1997.0 et leurs dérivées à celles du modèle NNR-NUVEL-1A (Argus et al., 1991, DeMets et al., 1990, 1994).

Les résultats de l'ITRF2000 ont montré un désaccord significatif avec le modèle NUVEL-1A en terme de mouvements relatifs entre plaques tectoniques (Altamimi et al., 2002). Cependant l'alignement de l'orientation différentielle de l'ITRF2000 au modèle NNR-NUVEL-1A est assurée

à 1 mm/an (Altamimi et al., 2003). Par conséquent, bien que l'ITRF2000 soit globalement aligné sur le modèle NNR-NUVEL-1A, des différences de vitesses au niveau régional peuvent atteindre 3mm/an comme le montre la figure 3.5.3.

3.6. PASSAGE DU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE CÉLESTE GÉOCENTRIQUE AU SYSTÈME DE RÉFÉRENCE TERRESTRE

3.6.1. Introduction

La réduction de toute observation d'un objet céleste effectuée depuis la Terre, exige une transformation qui fait passer des coordonnées de l'objet dans le système de référence céleste aux coordonnées de ce même objet dans le système de référence terrestre où l'on connaît les coordonnées de la station d'observation.

Cette transformation de coordonnées s'effectue en deux étapes. La première étape, qui correspond au passage d'un système de référence centré au barycentre du système solaire à un système de référence centré au centre de masse de la Terre, a été décrite en 3.2. dans le cadre de la forme générale de la transformation entre les systèmes de référence relativistes notés BCRS et GCRS. Cette transformation prend en compte les effets de parallaxe annuelle et d'aberration annuelle à la date d'observation, ainsi que l'effet de déflexion de la lumière dans le champ gravitationnel des corps du système solaire (excepté la Terre). Cela permet de passer des coordonnées d'un objet céleste données par un catalogue ou par une éphéméride à ses coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS, appelés couramment coordonnées *apparentes* (cf. 3.3). La deuxième étape, qui correspond au passage des coordonnées dans le système de référence céleste géocentrique GCRS aux coordonnées dans le système de référence terrestre ITRS, prend en compte l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste à la date d'observation.

Le but de ce chapitre est de donner l'expression de la transformation de coordonnées entre le GCRS et l'ITRS à utiliser dans les réductions d'observations en fonction de quantités qui permettent de décrire l'orientation de la Terre dans le système de référence céleste suivant les conventions qui ont été adoptées par l'UAI en 2000.

3.6.2. Expression générale de la transformation

Les directions d'étoiles ou de quasars observés depuis la Terre à une certaine date se rapportent directement à un axe intermédiaire très proche de l'axe instantané de rotation. On est ainsi amené à introduire, dans le passage entre les systèmes de référence ITRS et GCRS, un système de référence céleste instantané dit *intermédiaire*, défini de façon conventionnelle de façon à exprimer au mieux les quantités observées au cours des réductions d'observations. Ainsi, pour effectuer le passage

du GCRS à l'ITRS, on passe d'abord des axes du système de référence céleste géocentrique dans lequel les coordonnées des directions des objets célestes sont calculées aux axes du système de référence intermédiaire instantané. Ce passage inclut (i) une rotation indépendante du temps entre le GCRS et le système de référence équatorial moyen à l'époque de référence t_o et (ii) une rotation pour passer du système de référence équatorial moyen de l'époque t_o au système de référence intermédiaire animé du mouvement de précession et de nutation. L'axe Ox de ce système de référence intermédiaire est arbitraire, les ascensions droites d'étoiles ou de quasars étant déterminées de façon relative. Pour exprimer les coordonnées angulaires d'un astre dans le système de référence terrestre il faut ensuite tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle intermédiaire à partir de l'origine choisie ainsi que du déplacement de ce pôle par rapport à la Terre.

Si l'on désigne par $[CRS]$ et $[TRS]$ les matrices-colonnes des coordonnées rectangulaires d'un vecteur dans les systèmes de référence céleste et terrestre, respectivement, on peut ainsi écrire, les deux systèmes de référence étant supposés directs :

$$[TRS] = W(t) R(t) C(t) [CRS], \tag{3.6.1}$$

expression dans laquelle les matrices de transformation W , R , C tiennent compte des effets suivants :

- le mouvement du pôle, ou déplacement du pôle intermédiaire par rapport au système de référence terrestre, dans $W(t)$;
- l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du pôle, c'est-à-dire le long de l'équateur de la date, dans $R(t)$;
- le déplacement céleste du pôle intermédiaire, c'est-à-dire la précession-nutation, ainsi que l'écart entre le système de référence équatorial moyen de l'époque de référence et le système de référence céleste, dans $C(t)$.

Les dates d'observation étant exprimées en jour, soit dans l'échelle TAI, soit dans l'échelle TDB, on a :

$$t = (\text{TAI} - 2\,451\,545)/36\,525 \approx (\text{TDB} - 2\,451\,545)/36\,525. \tag{3.6.2}$$

Il existe deux options équivalentes pour la transformation (3.6.1) suivant l'origine utilisée pour compter l'angle de rotation de la Terre, soit l'équinoxe pour l'expression classique du temps sidéral, soit l'*origine non-tournante* (NRO, Non Rotating Origin), définie par Guinot en 1979 (*cf.* 3.6.4.4). Le choix de l'équinoxe vrai de la date comme origine sur l'équateur instantané avait des raisons historiques. Une origine des coordonnées célestes définie à partir de mesures de positions d'étoiles dérive dans le temps du fait de la mauvaise connaissance des mouvements propres. C'est pourquoi on a préféré, dans le passé, déterminer cette origine à partir des mouvements des corps du système solaire dont la théorie fait tout naturellement intervenir l'écliptique et l'équinoxe. L'usage de l'équinoxe dans la réduction d'observations n'a par contre aucun intérêt particulier lorsque ces observations ne sont pas directement sensibles à la position de l'écliptique (observations d'étoiles, de quasars, de satellites artificiels, etc.) et l'axe Ox du système de référence intermédiaire de la date peut alors être choisi indépendamment de l'équinoxe. Le choix d'un axe dirigé vers l'origine non-tournante permet alors de clarifier les concepts intervenant dans la transformation (3.6.1) et

d'améliorer l'exactitude de ses différentes composantes. L'utilisation de la NRO a été recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI adoptée en 2000.

3.6.3. Les résolutions 2000 et 2006 de l'UAI relatives à la transformation entre les systèmes de référence terrestre et céleste

Plusieurs résolutions concernant la transformation entre les systèmes de référence céleste et terrestre ont été adoptées par la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) ; elles ont été mises en pratique par les conventions et les procédures de l'IERS qui sont entrées en vigueur le 1 janvier 2003 (*cf.* IERS, 2002 et IERS, 2003).

Résolution UAI 2000 B1.7 : Définition du pôle céleste intermédiaire

Cette résolution recommande l'utilisation, à partir du 1 janvier 2003, du *pôle céleste intermédiaire* (CIP, Celestial Intermediate Pole) comme pôle céleste de la date, à la place du *pôle céleste des éphémérides* (CEP, Celestial Ephemeris Pole) qui avait été défini par le précédent modèle de nutation (UAI 1980). Ce pôle est défini par une convention relative à son mouvement dans le GCRS et l'ITRS qui étend la précédente définition du CEP dans le domaine des fréquences plus élevées (Capitaine, 2000a et 2000b). La nouvelle convention est telle que les nutations forcées ayant des périodes inférieures à deux jours sont incluses dans le modèle du mouvement du CIP dans l'ITRS.

La résolution B1.7 précise que le mouvement du CIP dans le GCRS est obtenu par le modèle de précession-nutation UAI 2000 pour des périodes supérieures à deux jours, corrigées des corrections additionnelles dépendant du temps et fournies par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques. De même, le mouvement du CIP dans l'ITRS est fourni par l'IERS à partir d'observations astro-géodésiques et des modèles incluant des variations à hautes fréquences.

Résolution UAI 2000 B1.8 : Définition et usage des origines céleste et terrestre

Cette résolution recommande d'utiliser comme origines sur l'équateur du CIP, les origines non-tournantes à la fois par rapport au GCRS et à l'ITRS. Ces origines étaient appelées respectivement *origine céleste des éphémérides* (CEO, Celestial Ephemeris Origin) et *origine terrestre des éphémérides* (TEO, Terrestrial Ephemeris Origin). Finalement, lors de sa vingt-sixième assemblée générale en 2006, l'UAI a adopté dans sa résolution B2 que la désignation «intermédiaire» soit utilisée pour décrire les systèmes de référence céleste et terrestre. Ainsi les origines non-tournantes pour le GCRS et l'ITRS sont nommées respectivement *origine céleste intermédiaire* (CIO, Celestial Intermediate Origin) et *origine terrestre intermédiaire* (TIO, Terrestrial Intermediate Origin), par souci d'homogénéisation avec le terme «intermédiaire» utilisé pour le pôle (UAI, 2006).

L'*angle de rotation de la Terre* (ERA, Earth Orientation Angle) est défini comme étant l'angle entre le TIO et le CIO, mesuré positivement dans le sens rétrograde, le long de l'équateur du CIP. La résolution B1.8 recommande que UT1 soit linéairement proportionnel à l'ERA et que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. La relation linéaire entre l'ERA, noté θ , et UT1 est celle donnée par Capitaine et al. (2000) :

$$\theta(UT1) = 2\pi (0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 \times (t - 2\,451\,545.0)), \quad (3.6.3)$$

où t est la date julienne en UT1.

L'IERS est chargé d'implanter cette résolution depuis le 1 janvier 2003 tout en continuant à fournir aux utilisateurs les données et les algorithmes pour la transformation conventionnelle.

3.6.4. Les paramètres d'orientation de la Terre

3.6.4.1. Définition des paramètres à utiliser

L'orientation de la Terre dans un système de référence céleste, centré au centre de masse de la Terre, est donnée par trois paramètres. En fait, le mouvement de la Terre autour de son centre de masse comporte une composante non prévisible, constituée du mouvement du pôle et des variations de la vitesse angulaire de rotation, et une composante prévisible qui constitue la précession-nutation. Ces diverses composantes sont décrites dans le chapitre 4. La représentation de la rotation de la Terre exige la connaissance du mouvement de l'axe instantané de rotation à la fois dans le système de référence céleste et dans le système de référence terrestre, ainsi que du mouvement de rotation de la Terre autour de son axe de rotation. On utilise ainsi, en pratique, cinq paramètres appelés *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) (*cf.* 4.4). Deux d'entre eux représentent la trajectoire du pôle intermédiaire sur la sphère céleste, deux autres expriment les coordonnées, x_p, y_p , de ce pôle sur la sphère terrestre et le cinquième, la rotation de la Terre autour de l'axe du pôle. La connaissance de ces cinq paramètres en fonction de la date est indispensable pour effectuer la transformation (3.6.1).

Le Temps universel UT1, le temps sidéral à Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time) et l'ERA θ , sont trois angles qui donnent la direction du méridien origine par rapport à une direction céleste origine et peuvent ainsi être utilisés pour mesurer l'angle de rotation de la Terre. Pour des raisons historiques, c'est le Temps universel UT1, considéré dans le passé comme une forme théorique de temps solaire, qui est utilisé comme l'un des paramètres de rotation de la Terre. UT1 se rapporte à la direction d'un Soleil moyen fictif ayant un mouvement uniforme en UT1 le long de l'équateur. La définition de UT1 est ainsi basée sur une relation avec un angle horaire qui mesure plus directement l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste, tels que GST, angle horaire du point γ (expression classique) ou l'ERA, θ , angle horaire de l'origine non-tournante (expression nouvelle). GST se rapporte à une direction qui subit la précession et la nutation, tandis que θ se rapporte à une direction qui, par définition, n'a aucune rotation instantanée (*cf.* 3.6.4.4). Ceci permet de définir UT1 comme étant proportionnel à l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. Les variations relatives de la vitesse angulaire de rotation de la Terre, $m_3 = (\omega_3 - \Omega)/\Omega$, se traduisent par des variations $\Delta UT1$ du paramètre UT1, telles que : $\Delta UT1 = (1/k) \int_0^t m_3 dt$, k étant le facteur de proportionnalité entre θ et UT1. Elles s'obtiennent par la détermination de UT1 – TAI à partir d'observations.

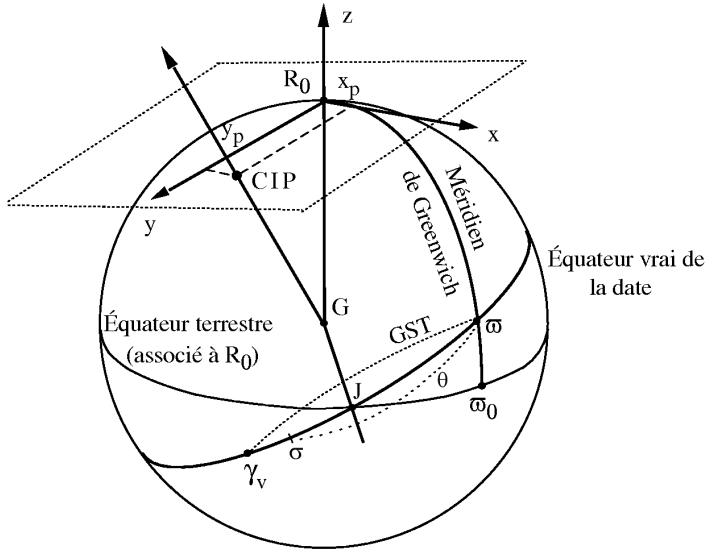


Fig. 3.6.1. Définition des paramètres d'orientation de la Terre.

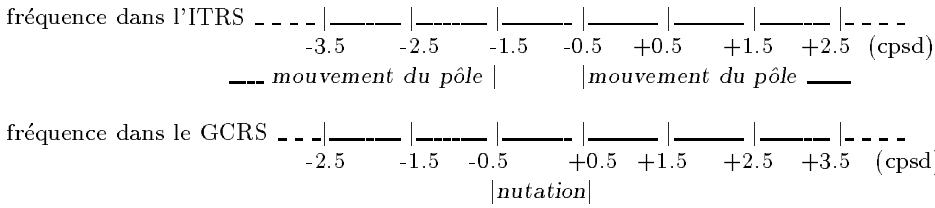
La figure 3.6.1 illustre la définition des paramètres qui décrivent l'orientation de la Terre à utiliser dans la transformation (3.6.1). Sur cette figure, G est le centre de masse de la Terre, Gz est l'axe des z du système de référence terrestre de référence défini au paragraphe 3.5 ; il coupe la sphère terrestre en R_0 . ϖ_0 est l'origine des longitudes, ϖ est l'intersection du méridien origine avec l'équateur vrai de la date, σ est le CIO sur l'équateur de la date, γ_v est l'équinoxe vrai de la date et J , le nœud de l'équateur de la date sur l'équateur terrestre. L'ERA est l'angle $\theta = \varpi\sigma$ et GST est l'angle $\varpi\gamma_v$.

3.6.4.2. Définition du CIP

Selon la résolution B1.7 de l'UAI (2000), le CIP est un pôle intermédiaire, proche du pôle instantané de rotation, séparant, par convention, le mouvement du pôle de l'ITRS dans le GCRS en deux composantes :

- le mouvement céleste du CIP (précession-nutation), comprenant tous les termes ayant des périodes plus grandes que deux jours dans le GCRS (c'est-à-dire des fréquences comprises entre -0.5 cycle par jour sidéral (cpsd) et $+0.5$ cpsd),
- le mouvement terrestre du CIP (ou mouvement du pôle), comprenant tous les termes en dehors de la bande rétrograde diurne dans l'ITRS (fréquences plus petites que -1.5 cpsd, ou plus grandes que -0.5 cpsd).

Cette définition est résumée par le schéma suivant :



La résolution B1.8 de l'UAI (2000) recommande que la transformation entre le GCRS et l'ITRS soit spécifiée par la position du CIP dans le GCRS, la position du CIP dans l'ITRS et l'ERA. Cela amène à utiliser, à la place des quantités classiques de précession-nutation, les cosinus directeurs, notés X et Y , du CIP dans le GCRS qui expriment directement la direction de l'axe du pôle intermédiaire sur la sphère céleste sous une forme très similaire à celle exprimant usuellement la direction de cet axe dans le système de référence terrestre.

3.6.4.3. Bases de la nouvelle définition du Temps universel UT1

Jusqu'au 1 janvier 2003, UT1 était défini, à partir du temps sidéral moyen à 0h UT1, par la relation de Aoki et al. (1982). Cette définition était adaptée à la détermination de UT1 à partir de l'instant de passage d'une étoile au méridien d'un lieu ou bien à une distance zénithale donnée ce qui n'est plus le cas des observations actuelles telles que la télémétrie laser ou le VLBI. Par ailleurs, le temps sidéral se réfère à l'équinoxe et les observations par les techniques modernes ne sont pas sensibles à la position de l'écliptique, donc de l'équinoxe, ce qui rend inutilement complexe le fait de se rapporter à l'équinoxe pour définir UT1. Enfin, la relation numérique d'Aoki et al. reposait sur le système de référence FK5 qui a été remplacé, au 1 janvier 1998, par le système de référence ICRS, décrit au paragraphe 3.4.

La nouvelle définition de UT1 adoptée par la résolution B1.8 de l'UAI (2000) utilise l'origine non-tournante sur l'équateur mobile. Cette origine a été choisie pour refléter le plus simplement possible la rotation de la Terre par rapport à un système de référence céleste tout en étant en continuité avec la définition historique de UT. Elle a l'avantage, d'une part, de rendre les concepts plus clairs, et, d'autre part, de simplifier les calculs.

Les conditions qui ont été prises en compte pour la nouvelle définition de UT1 ont été les suivantes :

- UT1 doit être proportionnel à la rotation sidérale de la Terre.
- Le coefficient de proportionnalité doit être tel que UT1 reste en moyenne en phase avec l'alternance des jours et des nuits.
- La phase de UT1 doit être fixée de telle sorte qu'il soit approximativement 12 h UT1 en moyenne lorsque le Soleil passe par le méridien origine.
- La relation linéaire entre l'ERA θ et UT1 doit permettre d'assurer la continuité en phase et en terme linéaire de UT1 avec la valeur obtenue en se basant sur la relation conventionnelle entre le temps sidéral du méridien de Greenwich et UT1 qui était utilisée en pratique avant le 1 janvier 2003.

La première condition exige l'utilisation d'une origine cinématiquement non-tournante sur

l'équateur mobile et les suivantes sont remplies par un choix approprié des valeurs numériques des coefficients.

3.6.4.4. Notion d'origine non-tournante

La rotation de la Terre par rapport à un système de référence inertiel doit être mesurée, sur l'équateur instantané, par rapport à une origine instantanée. Or, l'équateur instantané n'étant fixe ni dans le système de référence céleste du fait de la précession et de la nutation, ni dans le système de référence terrestre du fait du mouvement du pôle, la définition d'une origine instantanée pose un problème. L'utilisation d'une origine cinématiquement non-tournante sur l'équateur mobile permet de définir UT1 de telle façon qu'il réalise les conditions énoncées précédemment.

Soit (P_0) le système céleste quasi-inertiel défini par le pôle céleste moyen P_0 et l'équinoxe γ_0 à l'époque t_0 . On définit, dans l'équateur mobile à la date t , c'est-à-dire dans le système de référence équatorial instantané vrai de pôle P (dans la pratique, le CIP) et d'équinoxe γ_v , un point σ tel que le trièdre (GP, G_σ) n'ait, à aucun moment, de composante de rotation autour de GP par rapport à (P_0) . Ce point σ est le CIO, origine non-tournante dans le GCRS (Guinot, 1979).

Une telle définition implique que la rotation instantanée de σ autour de GP_0 annule la rotation instantanée qui résulte du mouvement de l'équateur dans le système de référence céleste du fait de la précession et de la nutation. De façon équivalente, on peut dire qu'à tout instant la vitesse de déplacement de ce point au cours du temps est dirigée perpendiculairement à l'équateur du CIP (figure 3.6.2).

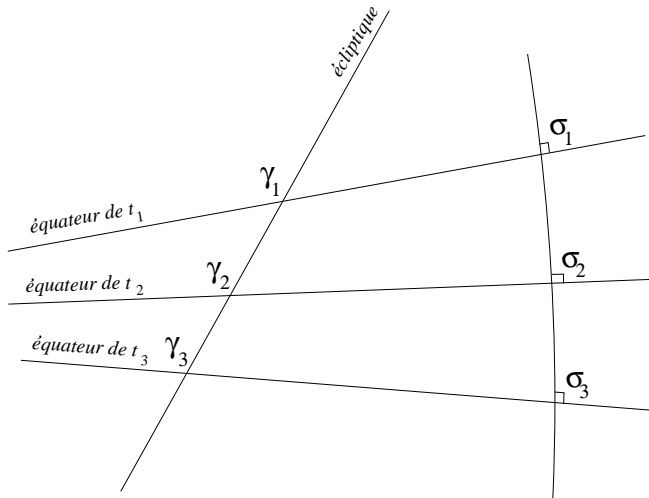


Fig. 3.6.2. Mouvement de l'origine non-tournante σ comparé à celui de l'équinoxe vrai de la date γ_v .

Soient d et E les coordonnées sphériques du CIP dans le système de référence céleste GCRS et

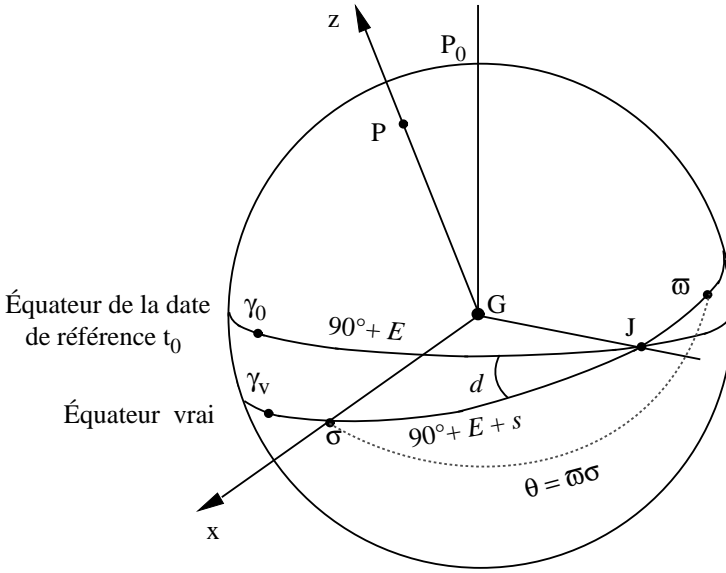


Fig. 3.6.3. Définition de l'origine "non-tournante".

$X = \sin d \cos E$, $Y = \sin d \sin E$, $Z = \cos d$ les coordonnées cartésiennes du vecteur unitaire dans la direction du CIP. Avec les notations de la figure 3.6.3, la quantité $s = \sigma\mathbf{J} - \gamma_0\mathbf{J}$ qui permet de positionner le CIO à tout instant à partir de l'origine fixe sur l'équateur fixe de l'époque t_0 , s'écrit sous la forme :

$$s(t) - s(t_0) = \int_0^t (\cos d - 1)\dot{E} dt = \int_0^t (\cos d - 1) dE. \quad (3.6.4)$$

Ou bien, à des termes en d^4 près :

$$s(t) - s(t_0) = -\frac{1}{2} \int_0^t (X\dot{Y} - Y\dot{X}) dt. \quad (3.6.5)$$

L'expression de s contenant l'ensemble des termes dus à la précession, la nutation ainsi que les couplages entre précession, nutation et décalage du pôle à l'origine est donnée par la formule (3.6.20) avec une exactitude de $5 \times 10^{-6}''$ pour la période [1975, 2025]; elle est la somme d'un polynôme du temps et de termes périodiques. Notons qu'après un siècle, la distance du CIO au méridien origine de l'ICRS est seulement de $0.070''$ alors que l'équinoxe s'est déplacé de près de 1.4 degré.

À cause du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, on définit également, dans l'équateur mobile, une origine non-tournante, relative au système de référence terrestre, le TIO noté ϖ . Le déplacement angulaire du TIO sur l'équateur du CIP du fait du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre est noté s' ; son expression s'obtient en remplaçant X et Y dans (3.6.5) par les coordonnées du CIP dans le système de référence terrestre, x_p et $-y_p$ (cf.

3.6.5.1). On obtient :

$$s' = \frac{1}{2} \int_0^t (x_p \dot{y}_p - \dot{x}_p y_p) dt. \quad (3.6.6)$$

Cette quantité qui était négligée dans la forme classique de la transformation entre le GCRS et l'ITRS avant le 1 janvier 2003, est nécessaire pour la réalisation exacte du méridien origine instantané. Étant donné l'ordre de grandeur de l'écart du CIP par rapport à R_0 , on peut écrire, pour les applications qui n'exigent pas une précision meilleure que la milliseconde de degré : $\varpi\mathbf{J} = \varpi_0\mathbf{J}$, c'est-à-dire $s' = \varpi\mathbf{J} - \varpi_0\mathbf{J} = 0$ (cf. Fig. 3.6.1).

3.6.4.5. Angle de rotation de la Terre et définition de UT1

L'ERA $\varpi\sigma = \theta$, compté positivement dans le sens rétrograde, (appelé originellement *angle stellaire*), définit l'angle de rotation sidérale de la Terre (Guinot, 1979). Il représente idéalement, par suite de la définition des origines CIO et TIO, la rotation intrinsèque de la Terre, puisque :

$$\theta = \omega_3 (t - t_0), \quad (3.6.7)$$

ω_3 étant la vitesse angulaire de rotation de la Terre autour de l'axe de rotation et t_0 l'époque de référence.

La connaissance de cet angle est suffisante pour positionner la Terre dans le système de référence céleste autour de l'axe du CIP et il se déduit aisément de toute observation qui permet de positionner le système de référence terrestre par rapport au système de référence céleste, ainsi que d'une modélisation de la position du CIP dans le système de référence céleste. On en déduit la définition conceptuelle de UT1 :

$$UT1 = (1/k) (\theta + a_0). \quad (3.6.8)$$

La définition conventionnelle de UT1 recommandée par la résolution B1.8 de l'UAI (2000) et donnée par l'équation (3.6.3) a été déduite de la définition conceptuelle ci-dessus en utilisant des valeurs de k et a_0 cohérentes avec la précédente définition conventionnelle (Aoki et al., 1982) de UT1 en fonction du temps sidéral.

3.6.4.6. Relation entre le temps sidéral et UT1

Le temps sidéral à Greenwich GST est relié à l'ERA θ , au niveau de la microseconde de degré, par la relation suivante (Aoki & Kinoshita, 1983 ; Capitaine & Gontier, 1993) :

$$GST = dT_0 + \theta + \int_{t_0}^t (\dot{\psi}_A + \Delta\dot{\psi}_1) \cos(\omega_A + \Delta\epsilon_1) dt - \chi_A + \Delta\psi \cos \epsilon_A - \Delta\psi_1 \cos \omega_A, \quad (3.6.9)$$

ψ_A , ω_A et χ_A étant les quantités de précession de Lieske et al. (1977) définies en 4.2.1, $\Delta\psi_1$, $\Delta\epsilon_1$, les angles de nutation en longitude et obliquité rapportés à l'écliptique de l'époque et $\Delta\psi$ la nutation en longitude rapportée à l'écliptique de la date.

$\theta - GST$ est l'ascension droite de l'équinoxe comptée à partir du CIO, quantité également appelée *équation des origines* et dT_0 est une constante à ajuster pour assurer la continuité de UT1 à la

date du changement (1 Janvier 2003) ; les autres termes représentent la précession-nutation en ascension droite accumulée de J2000 à la date t .

Cette expression est à la base de la relation numérique donnée par (3.6.23) entre le temps sidéral et UT1 qui a été obtenue par Capitaine et al. (2003b) en imposant : (i) l'équivalence avec la définition conventionnelle de UT1 donnée par (3.6.3), (ii) la compatibilité avec le modèle UAI 2000 de la nutation et l'expression correspondante de s , (iii) la continuité de UT1 avec la valeur obtenue au 1 janvier 2003 à 0h TT par les procédures utilisées avant le 1 janvier 2003.

3.6.5. Expression de la transformation entre le GCRS et l'ITRS utilisant l'origine non-tournante

3.6.5.1. Expression des matrices de rotation relatives aux origines non-tournantes

Toute transformation entre les système de référence GCRS et ITRS centrés au centre de masse de la Terre G s'exprime sous la forme (3.6.1) en fonction de matrices de transformation qui dépendent de l'origine utilisée sur l'équateur du CIP. Notons W' , R' , C' les matrices de transformation lorsque l'on utilise les origines non-tournantes CIO et TIO, comme le recommande la résolution B1.8 (UAI, 2000).

Désignons par x_p et y_p les coordonnées terrestres du CIP défini en 3.6.4.2. Du fait de la proximité de l'axe des z du système de référence terrestre et de l'axe du CIP, ces coordonnées, appelées *coordonnées du pôle*, sont des coordonnées angulaires différentielles par rapport au pôle terrestre origine. Par convention, elles sont comptées respectivement, le long du méridien terrestre origine, positivement vers Greenwich pour x_p et le long d'un axe perpendiculaire à ce méridien, positivement vers la longitude 90° ouest pour y_p . La matrice qui permet de tenir compte du mouvement du pôle dans le système de référence terrestre, est le produit de deux matrices de rotation (autour de l'axe Gx pour la coordonnée y_p et de l'axe Gy pour la coordonnée x_p). L'utilisation de l'origine non-tournante dans le système de référence terrestre amène à introduire la quantité s' définie par l'équation (3.6.6). Cette rotation autour de l'axe Gz s'ajoute aux deux rotations précédentes, et l'effet total du déplacement terrestre de l'axe du CIP se traduit par la matrice de rotation :

$$W'(t) = R_1(-y_p)R_2(-x_p)R_3(s'). \quad (3.6.10)$$

La matrice $R'(t)$ est une matrice de rotation autour de l'axe du CIP qui permet de tenir compte de l'angle de rotation de la Terre dans le système de référence céleste. La définition de l'ERA, θ , permet d'écrire :

$$R'(t) = R_3(\theta), \quad \text{avec} \quad \theta = \theta_0 + k(\text{UT1} - \text{UT1}_0), \quad (3.6.11)$$

où k est le coefficient de proportionnalité entre l'ERA et le Temps universel, l'indice 0 désignant l'époque de référence t_o . L'effet total du déplacement céleste de l'axe du CIP dans le GCRS (incluant les écarts constants) se traduit par la matrice de rotation :

$$C'(t) = R_3(-s)R_3(-E)R_2(d)R_3(E) = R_3(-s)M(t), \quad (3.6.12)$$

avec $M(t) = R_3(-E)R_2(d)R_3(E)$, fonction des coordonnées sphériques E et d du CIP dans le GCRS. On peut également écrire $M(t)$ sous la forme d'une matrice de transformation faisant intervenir directement les deux paramètres X et Y (cf. 3.6.4.4) :

$$M(t) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & -X \\ -aXY & 1 - aY^2 & -Y \\ X & Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}, \quad (3.6.13)$$

où a est défini par $a = 1/(1 + \cos d)$.

3.6.5.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

Les coordonnées du pôle x_p et y_p à la date t , à utiliser dans la matrice $W'(t)$, sont fournies par l'IERS. Pour se conformer à la définition du CIP, il faut ajouter les composantes additionnelles permettant de prendre en compte les termes provenant (i) des effets des marées océaniques et (ii) des nutations de périodes inférieures à deux jours. Les coordonnées du pôle à utiliser sont données par :

$$(x_p, y_p) = (x, y)_{IERS} + (\Delta x, \Delta y)_{tidal} + (\Delta x, \Delta y)_{nutation}, \quad (3.6.14)$$

$(x, y)_{IERS}$ étant les coordonnées du pôle fournies par l'IERS, $(\Delta x, \Delta y)_{tidal}$ les variations diurnes et subdiurnes du mouvement du pôle dues aux marées océaniques et $(\Delta x, \Delta y)_{nutation}$ les composantes du mouvement du pôle (Brzeziński & Capitaine, 2002, Mathews & Bretagnon, 2002) correspondant aux nutations de périodes diurnes et subdiurnes.

La quantité s' , qui restera inférieure à $1 \times 10^{-4''}$ pendant un siècle, peut généralement être négligée. Pour des calculs exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4''}$ sur les EOP, elle peut être calculée en utilisant les valeurs fournies par l'IERS pour les amplitudes a_c et a_a du terme de Chandler et du terme annuel du mouvement du pôle à l'époque du calcul. Elle s'écrit alors, en exprimant les amplitudes en secondes de degré et t en siècles :

$$s' = -0.0015'' (a_c^2/1.2 + a_a^2) t. \quad (3.6.15)$$

En utilisant les valeurs moyennes actuelles des amplitudes de ces termes, on a (Lambert & Bizouard 2002) :

$$s' = -0.000\,047'' t. \quad (3.6.16)$$

La valeur de l'ERA en radians, à la date t , à utiliser dans la matrice $R'(t)$, s'obtient en utilisant l'expression (3.6.3) :

$$\theta(d_u) = 2\pi (0.779\,057\,273\,264\,0 + 1.002\,737\,811\,911\,354\,48 T_u), \quad (3.6.17)$$

où T_u = date julienne UT1 - 2 451 545.0, et UT1 = UTC + (UT1 - UTC), la valeur de UT1 - UTC à la date t étant fournie par l'IERS.

La valeur des quantités X et Y à utiliser dans la matrice $C'(t)$ s'obtient à partir des développements UAI 2000/2006 des coordonnées X et Y du CIP à la date t dans le GCRS, qui ont été donnés sous la forme suivante par Capitaine et al. (2003a) et Capitaine et al. (2005, table 5) pour la partie polynomiale :

$$\begin{aligned}
 X = & -0''.016\,617 + 2\,004''.191\,898t - 0''.429\,782\,9t^2 \\
 & - 0''.198\,618\,34t^3 - 0''.000\,007\,578t^4 + 0''.000\,005\,928\,5t^5 \\
 & + \sum_i [(a_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(a_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT}) + (a_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.18}$$

$$\begin{aligned}
 Y = & -0''.006\,951 - 0''.025\,896t - 22''.407\,274\,7t^2 \\
 & + 0''.001\,900\,59t^3 + 0''.001\,112\,526t^4 + 0''.000\,000\,135\,8t^5 \\
 & + \sum_i [(b_{c,0})_i \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,0})_i \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,1})_i t \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,1})_i t \sin(\text{ARGUMENT})] \\
 & + \sum_i [(b_{c,2})_i t^2 \cos(\text{ARGUMENT}) + (b_{s,2})_i t^2 \sin(\text{ARGUMENT})] + \dots,
 \end{aligned} \tag{3.6.19}$$

où t est compté en siècles juliens à partir de J2000 et où ARGUMENT représente les arguments des nutations luni-solaires et planétaires du modèle UAI 2000A ; c'est une combinaison linéaire des arguments fondamentaux de la nutation (*i.e.* arguments de Delaunay l, l', F, D, Ω), des longitudes des planètes $LM_e, LV_e, LE, LM_a, LJ, LS_a, LU, LN_e$ et de la précession p_A . Ces développements ont été déduits des expressions de X et Y (Capitaine, 1990) en fonction des quantités classiques de précession-nutation ; ils sont compatibles avec le modèle de nutation UAI 2000A et incluent les décalages à J2000 par rapport aux axes du GCRS (ξ_0, η_0 pour le CIP et $d\alpha_0$ pour l'équinoxe). Un extrait des développements (3.6.18) et (3.6.19) pour les termes périodiques les plus importants est donné dans la table 3.1. Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$ sur les EOP, il faut ajouter à ces valeurs, les corrections sur la position du pôle céleste, $dX = d\psi \sin \varepsilon$ et $dY = d\varepsilon$, diffusées par l'IERS par rapport au modèle UAI.

La valeur de la quantité s à utiliser dans la matrice $C'(t)$ s'obtient à partir du développement de s en fonction du temps obtenu par (3.6.4) en utilisant les expressions (3.6.18) et (3.6.19) pour X et Y ; elle s'écrit avec une exactitude de $10 \mu\text{as}$ (Capitaine et al., 2003a ; Wallace & Capitaine, 2006) :

$$\begin{aligned}
 s = & -XY/2 + 0''.000\,094 + 0''.003\,809t - 0''.000\,123t^2 - 0''.072\,574t^3 \\
 & + 0''.000\,028t^4 + 0''.000\,016t^5 \\
 & - 0''.002\,641 \sin \Omega - 0''.000\,064 \sin 2\Omega - 0''.000\,012 \sin(2\lambda_{\odot} + \Omega) - 0''.000\,011 \sin(2\lambda_{\odot} - \Omega) \\
 & + 0''.000\,744t^2 \sin \Omega + 0''.000\,057t^2 \sin 2\lambda_{\odot} + 0''.000\,010t^2 \sin 2\lambda_{\mathcal{C}},
 \end{aligned} \tag{3.6.20}$$

λ_{\odot} et $\lambda_{\mathcal{C}}$ étant respectivement les longitudes moyennes du Soleil et de la Lune et Ω la longitude du nœud de l'orbite de la Lune. Le terme constant de ce développement a été déterminé de façon à assurer la continuité de UT1 au 1 janvier 2003.

Table 3.1. Termes périodiques les plus importants dans les développements des coordonnées $X(t)$ (partie supérieure) et $Y(t)$ (partie inférieure) du CIP dans le GCRS (unité $10^{-6}''$).

Amplitudes		ARGUMENT														
i	$(a_{s,0})_i$	$(a_{c,0})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1	-6844318.44	1328.67	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-523908.04	-544.76	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	-90552.22	111.23	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	82168.76	-27.64	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	58707.02	470.05	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(a_{s,1})_i$	$(a_{c,1})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1307	-3328.48	205833.15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1308	197.53	12814.01	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1309	41.19	2187.91	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(b_{s,0})_i$	$(b_{c,0})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
1	1538.18	9205236.26	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	-458.66	573033.42	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	137.41	97846.69	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	-29.05	-89618.24	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-17.40	22438.42	0	1	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																
i	$(b_{s,1})_i$	$(b_{c,1})_i$	l	l'	F	D	Ω	L_{Me}	L_{Ve}	L_E	L_{Ma}	L_J	L_{Sa}	L_U	L_{Ne}	p_A
963	153041.82	878.89	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
964	11714.49	-289.32	0	0	2	-2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
965	2024.68	-50.99	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.....																

3.6.6. Expression classique de la transformation entre le GCRS et l'ITRS

3.6.6.1. Expression des matrices de rotation

Notons W'' , R'' , C'' les matrices de transformation lorsque l'on utilise la représentation classique pour la transformation (3.6.1), c'est-à-dire lorsque l'axe Gx du système de référence intermédiaire est dirigé vers l'équinoxe.

L'application de la résolution B1.8 (UAI, 2000) impose à la matrice W'' d'avoir la même expression (3.6.10) que dans le cas précédent.

La matrice $R''(t)$ s'écrit en fonction de GST :

$$R''(t) = R_3(\text{GST}). \tag{3.6.21}$$

$C''(t)$, produit de différentes matrices de rotation, permet de tenir compte du déplacement de l'équateur et de l'équinoxe par suite de la nutation et de la précession, ainsi que du décalage du pôle obtenu par le modèle de précession-nutation à J2000 par rapport au pôle du GCRS. Ces transformations sont prises en compte par un ensemble de trois rotations pour le décalage des axes du système de référence équatorial moyen à J2000 par rapport au GCRS, par un ensemble de quatre rotations pour la précession et un ensemble de trois rotations pour la nutation :

$$C''(t) = \underbrace{R_1(-\varepsilon_A - \Delta\varepsilon)R_3(-\Delta\psi)R_1(\varepsilon_A)}_{\text{nutation}} \underbrace{R_3(\chi_A)R_1(-\omega_A)R_3(-\psi_A)R_1(\varepsilon_0)}_{\text{précession}} \underbrace{R_1(-\eta_0)R_2(\xi_0)R_3(d\alpha_0)}_{\text{décalage à J2000}} \quad (3.6.22)$$

Dans (3.6.22) ε_A , z_A , θ_A et ζ_A sont des quantités liées à la précession définies en 4.2., $\Delta\varepsilon$ et $\Delta\psi$ sont les nutations en obliquité et en longitude rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date définies en 4.3.

3.6.6.2. Valeurs standard à utiliser pour les paramètres

Comme précédemment, les coordonnées du pôle x_p et y_p à la date t , à utiliser dans la matrice $W''(t)$, sont obtenues par (3.6.14) et l'expression de la quantité s' par (3.6.16).

La valeur de la quantité GST, à la date t , à utiliser dans la matrice $R''(t)$, s'obtient à partir de l'expression (3.6.23) du temps sidéral qui a été obtenue par Capitaine et al. (2003b) selon la procédure décrite en 3.6.4.5 de façon à assurer la continuité de UT1 au 1 janvier 2003 et l'équivalence entre la transformation classique et la transformation rapportée au CIO :

$$\begin{aligned} \text{GST} = & 0.014\,506'' + \theta + 4\,612.156\,534''t + 1.391\,5817''t^2 - 0.000\,000\,44''t^3 - 0.000\,029\,956''t^4 \\ & - 0.000\,000\,037''t^5 + \Delta\psi \cos \varepsilon_A - \sum_k C'_k \sin \alpha_k - 0.000\,000\,87''t \sin \Omega. \end{aligned} \quad (3.6.23)$$

Les deux derniers termes de (3.6.23) sont des termes complémentaires à ajouter à l'expression classique de l'équation des équinoxes, $\Delta\psi \cos \varepsilon_A$, de façon à assurer l'équivalence avec la relation entre GST et θ avec une exactitude de 1 microseconde de degré.

Les valeurs numériques des angles de nutation $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ à la date t sont obtenues à partir des tables du modèle UAI 2000 de la nutation (IAU 2000A de Mathews et al. (2002) pour une précision meilleure que $10^{-3}''$ ou IAU 2000B de McCarthy & Luzum (2003) pour une précision de l'ordre de $10^{-3}''$). Pour les observations exigeant une précision de l'ordre de $10^{-4}''$, il faut ajouter à ces valeurs conventionnelles, les valeurs IERS (observées ou prédites) des corrections $d\psi_{IAU2000}$ et $d\varepsilon_{IAU2000}$. Les valeurs à utiliser pour les décalages à J2000 sont les valeurs associées au modèle UAI 2000 pour ξ_0 et η_0 et la valeur $d\alpha_0 = -0.0146''$ obtenue par Chapront et al. (2002) à partir d'observations LLR.

Les valeurs des quantités ε_A , ψ_A , ω_A et χ_A sont données dans la table 4.2.1.

3.6.6.3. Comparaison avec l'expression 1982 de GMST

L'expression de GMST (Greenwich Mean Sidereal Time) compatible avec le modèle UAI 2000/2006 de précession-nutation est donnée en fonction de l'ERA par la première ligne de l'expression

(3.6.23); elle est exprimée en secondes de degré puisque GST et ERA sont des angles. Pour comparer cette expression à celle d'Aoki et al. (1982), on l'exprime en fonction de UT1 en utilisant la relation (3.6.3) et on convertit l'expression obtenue en secondes de temps. On obtient ainsi, avec une résolution de $0.1 \mu s$:

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24\,110.549\,3771 + 8\,639\,877.31737695 t_u + 307.477\,1023 t \\ & + 0.092\,772\,110 t^2 - 0.000\,000\,293 t^3 - 0.000\,001\,997 t^4 \\ & - 0.000\,000\,037 t^5, \end{aligned} \quad (3.6.24)$$

où t_u et t sont, respectivement, les dates en UT1 et en TT, exprimées en siècles juliens à partir de J2000.

Ou bien, de façon équivalente :

$$\begin{aligned} \text{GMST00}(t_u, t) = & \text{UT1} + 24\,110.549\,3771 + 8\,640\,184.794\,479\,25 t_u + 307.477\,1600 (t - t_u) \\ & + 0.092\,772\,110 t^2 - 0.000\,000\,293 t^3 - 0.000\,001\,997 t^4 \\ & - 0.000\,000\,037 t^5, \end{aligned} \quad (3.6.25)$$

à comparer avec la définition 1982 de UT1 :

$$\begin{aligned} \text{GMST82}(t_u) = & \text{UT1} + 24\,110.548\,41 + 8\,640\,184.812\,866 t_u \\ & + 0.093\,104 t_u^2 - 0.000\,0062 t_u^3. \end{aligned} \quad (3.6.26)$$

3.7. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107** (B10), 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003, The impact of a No-Net-Rotation Condition on ITRF2000, *Geophys. Res. Lett.* **30** (2), 1064, doi :10.1029/2002GL016279.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2003, ITRF2000 : From Theory to Implementation, *Proceedings of IAG V Hotine Marussi symposium*.
- Aoki, S., Guinot, B., et al. : 1982, The New Definition of Universal Time, *Astron. Astrophys.* **105**, 359.
- Argus, D.F., Gordon, R.G. : 1991, No-net rotation model of current plate velocities incorporating plate motion model NUVEL-1, *Geophys. Res. Lett.* **18**, 2038.
- Arias, E.F., Bouquillon, S. : 2004, Representation of the International Celestial Reference System (ICRS) by different sets of selected radio sources, *Astron. Astrophys.* **422**, 1105.

- Arias, E.F., Charlot, P., et al. : 1995, The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRF, *Astron. Astrophys.* **303**, 604.
- Arias, F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, Comparison of VLBI celestial reference frames, *Astron. Astrophys.* **199**, 357.
- Arias, E.F., Feissel, M., Lestrade, J.-F. : 1988, An extragalactic celestial reference frame consistency with the BIH terrestrial system (1987), BIH Annual Report for 1988, D-113, observatoire de Paris.
- Boucher, C. : 1989, Current intercomparisons between CTS's in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolacek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 324.
- Boucher, C. : 2001, Terrestrial coordinate systems and frames, in *Encyclopedia of Astronomy and Astrophysics*, MacMillan.
- Boucher, C., Altamimi, Z. : 1985, Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame, *The MERIT/COTES Report on Earth Rotation and Reference Frames Vol. 2*, Mueller, I.I ed., OSU/DGS, Columbus, Ohio, USA.
- Bretagnon, P. : 1982, Théorie du mouvement de l'ensemble des planètes. Solution VSOP82, *Astron. Astrophys.* **114**, 278.
- Bretagnon, P., Brumberg, V.A. : 2003, On transformation between international celestial and terrestrial reference systems, *Astron. Astrophys.* **408**, 387.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions for precession consistent with the IAU 2000A model. Considerations about the ecliptic and the Earth Orientation Parameters, *Astron. Astrophys.* **400**, 485.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1998, SMART97 : A new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Guinot, B. : 1996, Astronomical Units and Constants in the General Relativity Framework, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **64**, 231.
- Brumberg, V.A., Groten, E. : 2001, IAU Resolutions on Reference Systems and Time Scales in Practice, *Astron. Astrophys.* **367**, 1070.
- Brumberg, V.A., Simon J.-L. : 2004, Relativistic indirect third-body perturbations in the SMART Earth's rotation theory, in *Journées 2003, Systèmes de référence spatio-temporels*, Saint-Pétersbourg, (sous presse).
- Brzeziński, A., Capitaine N. : 2003, Lunisolar perturbations in Earth rotation due to the triaxial figure of the Earth : geophysical aspects, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels* 2001, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 51.
- Capitaine, N. : 1990, The Celestial Pole Coordinates," *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **48**, 127.
- Capitaine, N. : 2000a, Overview and proposition for a modern definition of the CEP in "Polar

- motion : Historical and scientific problems”, *ASP Conference series*, Vol 208, S. Dick, D.D. McCarthy and B. Luzum eds, 573.
- Capitaine, N. : 2000b, Definition of the Celestial Ephemeris Pole and the Celestial Ephemeris Origin, in “Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond astrometry”, K.J. Johnston, D.D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan eds, USNO, 153.
- Capitaine, N., Gontier A.-M. : 1993, Accurate procedure for deriving UT1 at a submilliarcsecond accuracy from Greenwich sidereal time or from stellar angle, *Astron. Astrophys.* **275**, 645.
- Capitaine, N., Guinot, B., McCarthy, D.D. : 2000, Definition of the Celestial Ephemeris origin and of UT1 in the international Reference Frame, *Astron. Astrophys.* **335**, 398.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T. : 2003a, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., McCarthy, D.D. : 2003b, Expressions to implement the IAU 2000 definition of UT1, *Astron. Astrophys.* **406**, 1135.
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003c, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M. : 1997, Lunar motion : theory and observations, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **66**, 31.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 1999, Determination of the lunar orbital and rotational parameters of the ecliptic reference system orientation from LLR measurements and IERS data, *Astron. Astrophys.* **343**, 624.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.
- Chapront, J., Francou, G. : 2003, The lunar theory ELP revisited. Introduction of new planetary perturbations, *Astron. Astrophys.* **404**, 735.
- Charlot, P., Sovers, O.J., Williams, J.G., Newhall, X.X. : 1995, Precession and Nutation from Joint Analysis of Radio Interferometric and Lunar Laser Ranging Observations, *Astron. J.* **109**, 418.
- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., Stein, S. : 1994, Effect of recent revisions of the geomagnetic reversal timescale on estimates of current plate motions, *Geophys. Res. Lett.* **21** (20), 2191.
- Fairhead, L., Bretagnon, P. : 1990, An analytical formula for the time transformation TB–TT, *Astron. Astrophys.* **229**, 240.
- Feissel-Vernier, M. : 2002, Selecting stable extragalactic compact radio sources from the permanent astrogeodetic VLBI program, *Astron. Astrophys.* **403**, 105.
- Fey, A.L., Charlot, P. : 1997, VLBA observations of radio reference frame sources . II. Astrometric suitability based on observed structure, *Astrophys. J. Suppl.* **111**.
- Fey, A.L., Ma, C., Arias, E.F., Charlot, P. et al. : 2004, The second extension of the International Celestial Frame : ICRF-EXT.1 *Astron. J.*, **403**, (6), 3587.

- Folkner, W.M., Charlot, P., et al. : 1994, Determination of the extragalactic-planetary frame tie from joint analysis of radio interferometric and lunar laser ranging measurements, *Astron. Astrophys.* **287**, 279.
- Fricke, W. : 1982, Determination of the Equinox and Equator of the FK5, *Astron. Astrophys.* **107**, L13.
- Fricke, W., Schwan, H., Lederle, T. et al. : 1988, Fifth Fundamental Catalogue (FK5), Veröff. Astron. Rechen-Institut Heidelberg 32, Verlag G. Braun, Karlsruhe.
- Guinot B. : 1979, Basic problems in the kinematics of the rotation of the Earth, in Time and the Earth's Rotation, IAU Symposium N 82, McCarthy D.D, Pilkington D.H. eds, D. Reidel, pp. 7–18.
- Guinot, B. : 2000, Time systems and time frames, the epochs, in *J2000, a fundamental epoch for origins of reference systems and astronomical models* (Journées 2000), Capitaine, N. ed., observatoire de Paris, 209.
- Hazard, C., Sutton, J., Argue, A.N., et al. : 1971, Accurate Radio and Optical Positions of 3C273B, *Nature* **233**, 89.
- IERS : 1992, IERS Standards (1992), *IERS Technical note* 13, McCarthy ed., observatoire de Paris, 148.
- IERS : 1996, IERS Conventions (1996), *IERS technical note* 21, McCarthy ed., observatoire de Paris.
- IERS : 1999, : First extension of the ICRF, ICRF-Ext.1, *1998 IERS Annual Report*, Gambis, D. ed., observatoire de Paris, 87.
- IERS : 2002, Proceedings of the IERS Workshop on the Implementation of the New IAU Resolutions, *IERS technical note* 29, Capitaine, N., Gambis, D., McCarthy, D.D., Petit, G., Ray, J., Richter, B., Rothacher, M., Standish, E.M., Vondrak, J. eds., Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt am mai
- IERS : 2003, IERS Conventions (2003), *IERS technical note* 32, McCarthy, D.D., Petit, G. eds, Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie.
- Kinoshita, H., Aoki, S. : 1983, The definition of the ecliptic, *Celest. Mech.* **31**, 329.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1981, in *Reference Coordinate Systems for Earth Dynamics*, Gaposchkin E.M., Kolaczek, B. eds., Reidel, 375.
- Kovalevsky, J., Mueller, I.I. : 1989, in *Reference frames in Astronomy and Geophysics*, Kovalevsky, J., Mueller, I.I., Kolaczek, B. eds, Kluwer Academic Publishers, 1.
- Kovalevsky, J., Lindgren, L., et al. : 1997, The Hipparcos catalogue as a realisation of the extragalactic reference system, *Astron. Astrophys.* **323**, 620.
- Lambert, S., Bizouard, C. : 2002, Positioning the Terrestrial Ephemeris Origin in the International Terrestrial Frame, *Astron. Astrophys.* **394**, 317.
- Lieske, J.H., Lederle, T., Fricke, W., Morando, B. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame based on VLBI

- Observations of Extragalactic Radio Sources, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon P. : 2002, High frequency nutation, in the Proceedings of the *Journées Systèmes de Référence Spatio-temporels* 2001, N. Capitaine ed, observatoire de Paris, 28.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation-precession : New nutation series for non-rigid Earth, and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res. (Solid Earth)* **107 (B4)**.
- McCarthy, D. D. and Luzum, B. J. : 2003, An Abridged Model of the Precession-Nutation of the Celestial Pole, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **85**, 35.
- Minster, J.B., Jordan, T.H. : 1978, Present-day plate motions, *J. Geophys. Res.*.
- Moons, M. : 1984, Planetary perturbations of the libration of the Moon, *Celest. Mech.* **34**, 263
- Moisson, X. : 1999, Solar system planetary motion to third order of the masses, *Astron. Astrophys.* **341**, 318.
- Moisson, X., Bretagnon, P. : 2001, Analytical planetary solution VSOP2000, *Celest. Mech.* **80**, 205.
- Morrison, L.V., Argyle, R.W., et al. : 1990, Comparison of FK5 with Bordeaux and Carlsberg Meridian Circle Observations, *Astron. Astrophys.* **240**, 173.
- Morrison, L.V., Buontempo, M.E., Fabricius, C., Helmer, L. : 1992, First meridian circle observations of Pluto, *Astron. Astrophys.* **262**, 347.
- Newhall, XX, Standish, E.M., Williams, J.G. : 1983, DE102 : a numerically integrated ephemeris of the Moon and planets spanning forty-four centuries, *Astron. Astrophys.* **125**, 150.
- Petit, G. : 2000, Report of the BIPM/IAU Joint Committee on relativity for space-time references systems and metrology, in *Proceedings of the IAU Colloquium* 180, Johnston, K.J., McCarthy, D.D., Luzum, B.J. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington, 275.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Schwann, H. : 1988, Precession and Galactic Rotation in the System of the FK5, *Astron. Astrophys.* **198**, 116.
- Sillard, P., Boucher, C. : 2001, Review of Algebraic Constraints in Terrestrial Reference Frame Datum Definition, *Journal of Geodesy* **75**, 63.
- Soffel, M., Klioner, S.A., et al. : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Souchay, J., Feissel, et al. : 1995, Precession and Nutation for a Non-rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **299**, 277.
- Standish, E.M. : 1981, Two differing definitions of the dynamical equinox and the mean obliquity, *Astron. Astrophys.* **101**, L17.
- Standish, E.M. : 1982, DE200, magnetic tape.
- Standish, E.M., Newhall, X.X., Williams, J.G., Folkner, W.F. : 1995, JPL planetary and lunar ephemerides, DE403/LE403, JPLIOM **314.10**.

- Standish, E.M. : 1998a, Times scales in the JPL and CfA ephemerides, *Astron. Astrophys.* **336**, 381.
- Standish, E.M. : 1998b, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, JPLIOM **312.F**.
- Standish, E.M. : 1998c, Orientation of the JPL Ephemerides onto the international celestial reference frame, in *IV International Workshop on positional and celestial mechanics*, Lopez Garcia et al. eds, Valencia, Spain.
- UAI : 1991, Reference Systems, in *Proceedings of the IAU Colloquium 127*, Hughes, J.A., Smith, C.A. and Kaplan, G.H. eds, USNO, Washington.
- UAI : 1992, Resolutions of the twenty-first General Assembly, *IAU Information Bull.* **67**.
- UAI : 1994, Resolutions of the twenty-second General Assembly, *IAU Information Bull.* **74**.
- UAI : 1997, Resolutions of the twenty-third General Assembly, *IAU Information Bull.* **81**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).
- UAI : 2006, Resolutions of the twenty-sixth General Assembly, *IAU Information Bull.* **99**.
- Schwan, H. : 1983, *Veröffentlichungen Astronomisches Rechen-Institut Heidelberg* **30**, 47.
- Wallace, P., Capitaine, N. : 2006, Precession-nutation procedures consistent with IAU 2006 resolutions, *Astron. Astrophys.* **459**, 981.
- Williams, J.G. : 1994, Contributions to the Earth's obliquity rate, precession and nutation, *Astron. J.* **108**, 7.

CHAPITRE 4

ROTATION DE LA TERRE

S. LAMBERT (4.1), J.-L. SIMON (4.2), S. MATHEWS & V. DEHANT (4.3)
ET D. GAMBIS (4.4)

4.1. INTRODUCTION DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES ET OBSERVATIONS

4.1.1. Introduction

La rotation de la Terre autour de son centre de gravité est un mouvement complexe dont les variations sont induites par l'attraction gravitationnelle des corps du système solaire (Lune, Soleil, planètes), ses interactions avec les couches fluides à la surface du globe ou dans la croûte (atmosphère, hydrosphère, cryosphère) et conditionnées par sa structure interne et sa rhéologie. Certaines composantes de ce mouvement de rotation sont modélisables avec une précision remarquable : ce sont les composantes résultant de l'attraction gravitationnelle de la Lune, du Soleil et, dans une bien moindre mesure, des planètes, exercée sur la forme de la Terre. Les mouvements réguliers des corps perturbateurs donnent naissance à des mouvements périodiques de l'axe de rotation terrestre par rapport à l'espace. En revanche, les effets de l'atmosphère, des océans, ou des redistributions de masse au sein de la Terre restent difficilement prédictibles, principalement à cause de notre connaissance seulement partielle des processus climatiques (friction des vents et des courants marins, déformation de la croûte sous la pression de l'atmosphère ou de l'océan, échanges de moment cinétique entre fluides de surface et Terre solide, ...) et des processus de couplages topographiques et électromagnétiques en profondeur au niveau des limites entre manteau, noyau liquide et graine solide.

L'observation astrométrique des corps célestes (par exemple de la Lune, des étoiles, etc.) depuis le sol s'effectue depuis des stations dont les coordonnées sont mesurées dans un repère de référence

terrestre. Les positions et mouvements des corps observés sont décrits dans un repère de référence céleste. L'orientation relative de ces deux repères au cours du temps varie suivant la rotation de la Terre, sans toutefois donner l'orientation de l'axe instantané de rotation. L'introduction d'un pôle céleste intermédiaire restant voisin de l'axe de rotation instantané et de l'axe de figure, le CIP (Celestial Intermediate Pole) permet la séparation entre variations lentes et rapides des angles d'orientation de la Terre, c'est-à-dire entre les changements d'orientation de l'axe de figure (mouvements dont les périodes s'étalent de quelques jours à plusieurs milliers d'années) et la rotation diurne. Les techniques d'observations astrométriques et géodésiques actuelles comme l'interférométrie radio à très longue base (VLBI, Very Long Baseline Interferometry), les systèmes de navigation globaux par satellites (GNSS, Global Navigation Satellite System), le tir laser sur satellites (SLR, Satellite Laser Ranging) ou sur la Lune (LLR, Lunar Laser Ranging) ou encore les déterminations d'orbites de satellites par décalage Doppler (DORIS) permettent de déterminer la direction de l'axe du pôle intermédiaire à quelques dixièmes de millisecondes de degré près. Si les mouvements périodiques de l'axe du pôle intermédiaire dans le repère céleste, résultant essentiellement des forces de marées exercées par les corps du système solaire et connus sous le nom de *précession-nutation*, sont modélisés avec une précision de quelques dixièmes de millisecondes de degré, les techniques d'observations permettent de déterminer les écarts entre le pôle intermédiaire observé et le pôle intermédiaire modélisé. Elles permettent également de mesurer le vecteur joignant le pôle nord géographique au pôle intermédiaire, vecteur usuellement rapporté au repère terrestre et que l'on nomme *mouvement du pôle*.

Ce chapitre introduit les notions de base concernant la description astrométrique et dynamique de la rotation de la Terre.

4.1.2. Les composantes de la rotation terrestre

4.1.2.1. Précession-nutation

L'orientation de l'axe de figure de la Terre dans l'espace subit des variations sous l'effet du couple gravitationnel externe sur la forme de la Terre et, dans une moindre mesure, sous l'effet des couches fluides à la surface du globe (charge, courants, marées) et de la rotation du noyau liquide. L'axe de figure décrit ainsi dans un repère céleste un cône d'ouverture $23^{\circ}26'$ en un peu moins de 26 000 ans ; c'est la précession, due à l'action du couple luni-solaire sur le bourrelet équatorial de la Terre. Dès l'antiquité les observations d'Hipparque mirent en évidence ce phénomène. En 1532, Copernic l'impute à une variation d'orientation de l'axe de la Terre. Il faudra attendre Newton pour en avoir une explication physique, en 1687.

Des oscillations plus rapides et de plus faible amplitude, causées par les variations périodiques du couple externe, constituent la nutation. La nutation principale est de période 18.6 ans et d'amplitude 17 secondes de degré. Elle fut observée par Bradley en 1748 et l'année suivante, d'Alembert en donne l'explication avec la première théorie analytique de la précession-nutation pour une Terre rigide.

4.1.2.2. Mouvement du pôle

En 1765, Euler montre que si l'axe d'inertie (ou axe de figure) et l'axe de rotation d'un corps ne sont pas confondus, alors l'axe de rotation décrit un cône autour de l'axe d'inertie. Ce mouvement est appelé mouvement libre. Euler calcule que l'axe de rotation de la Terre, alors considérée comme indéformable, doit présenter un tel mouvement avec une période de 305 jours. En cumulant les observations de latitude apparente des stations d'observation, Küstner annonce, en 1884, l'existence de variations annuelles dans l'orientation de l'axe terrestre. Chandler, en 1891, découvre que ces variations apparemment annuelles se scindent en fait en une oscillation annuelle et une autre oscillation de période quatorze mois. Cette dernière oscillation, dite *oscillation de Chandler* dont l'amplitude est voisine de 150 millisecondes de degré (mas), est bien le mouvement libre prédit par Euler plus d'un siècle auparavant. Sa période est voisine de 433 jours et l'allongement par rapport aux 305 jours prédits par Euler s'explique par l'élasticité du manteau terrestre, la présence d'un noyau fluide et celle des océans (l'effet centrifuge, en élevant le niveau des eaux près de l'équateur, modifie le moment d'inertie global de la Terre). Ce mouvement libre est normalement amorti en quelques dizaines d'années par friction. Le mécanisme d'entretien de ce mouvement, toujours observé de nos jours, mobilise encore la communauté géophysique. Il a été montré récemment que l'excitation du mouvement Chandler est d'origine atmosphérique et océanique.

Outre cette oscillation libre, le mouvement du pôle comprend d'autres termes. Un terme annuel d'environ 100 mas est dû principalement à l'excitation atmosphérique. Pour concrétiser les idées, 100 mas correspondent à 3 mètres sur l'équateur terrestre. Une dérive du pôle de rotation est aussi observée (4 mas par an) dans la direction du Canada ; elle est imputée au rebond postglaciaire (déformation lente de la croûte terrestre due à la fonte des calottes glaciaires polaires).

La figure 4.1 illustre la précession-nutation et le mouvement du pôle.

4.1.2.3. Vitesse de rotation et longueur du jour

La vitesse de rotation de la Terre autour de son axe n'est pas constante. Elle fluctue, avec des écarts atteignant 10^{-8} en valeur relative, autour d'une valeur moyenne conventionnelle $\Omega_0 = 7.292\,115 \times 10^{-5}$ rad/s.

Associée à cette vitesse de rotation, la durée du jour (LOD, Length of Day) fluctue également par rapport à sa valeur nominale de 86400 s. Ces variations sont principalement attribuées :

- 1) à un couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau qui produit un effet décennal dont l'amplitude est de l'ordre de 5 ms ;
- 2) aux marées zonales, variations de l'ellipticité de la Terre, qui produisent des effets dont l'amplitude maximale est de 0.4 ms pour le terme en 13.66 jours ;
- 3) aux déplacements des masses atmosphériques qui produisent des effets d'amplitude 0.3 ms sur une période annuelle et 0.2 ms sur une période semi-annuelle.

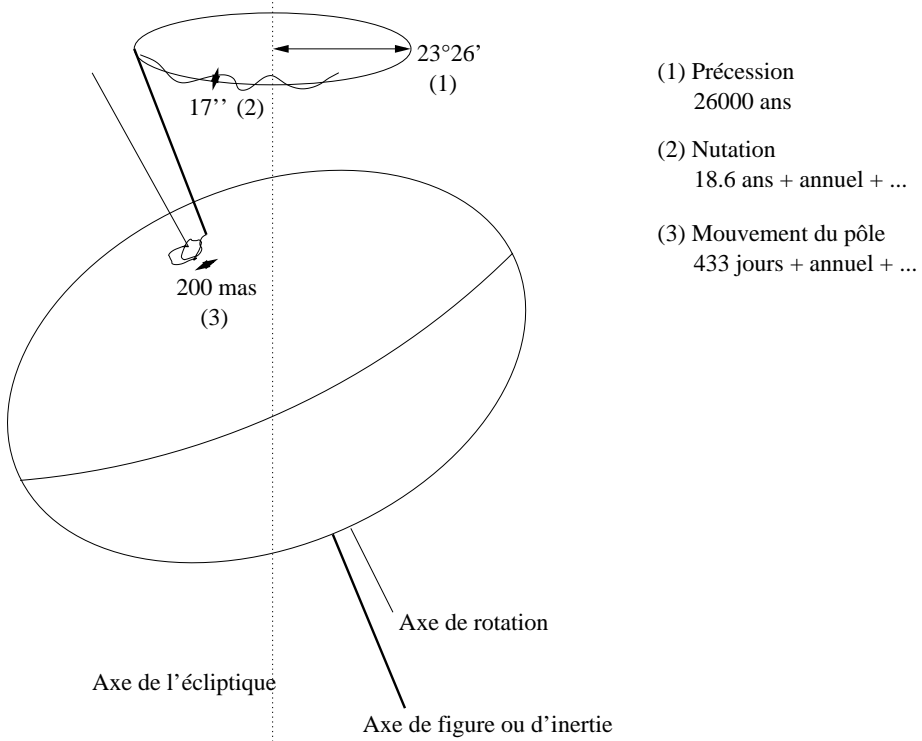


Fig. 4.1. Précession-nutation et mouvement du pôle.

4.1.3. Dynamique de la rotation de la Terre

4.1.3.1. Les équations

La dynamique d'un corps en rotation est décrite par l'équation reliant, dans un repère inertiel, la variation du moment cinétique \mathbf{H} de ce corps, au moment $\mathbf{\Gamma}$ des forces qui lui sont appliquées :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} = \mathbf{\Gamma}. \quad (4.1.1)$$

Par rapport à ce repère, la Terre est animée d'un mouvement de rotation uniforme légèrement perturbé autour de l'axe Oz du repère terrestre, de vecteur instantané $\boldsymbol{\omega}$. En conséquence, le vecteur instantané de rotation s'exprime dans le repère terrestre par :

$$\boldsymbol{\omega} = \Omega_0 \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 + m_3 \end{pmatrix}, \quad (4.1.2)$$

où les écarts m_i (sans dimension) sont petits devant l'unité (l'observation montre que $m_1 \sim m_2 \sim 10^{-6}$ et $m_3 \sim 10^{-8}$). Ici et dans la suite, les indices 1, 2 et 3 correspondent aux composantes x , y et z respectivement.

Dans cette approche, nous considérons que la Terre est un corps homogène et déformable. L'ensemble possède un mouvement de rotation rigide, auquel viennent s'ajouter des petits déplacements relatifs de masse (dans le noyau fluide ou bien dans les couches fluides externes). Le moment cinétique de la Terre entière s'écrira donc comme la somme d'un moment cinétique "rigide" donné par la matrice d'inertie $[C]$, et d'un moment cinétique "relatif" \mathbf{h} :

$$\mathbf{H} = [C].\boldsymbol{\omega} + \mathbf{h} . \tag{4.1.3}$$

La Terre est au premier ordre un ellipsoïde de révolution. Dans le repère terrestre, dont les axes sont orientés selon les axes principaux d'inertie moyens de la Terre, son tenseur d'inertie $[C]$ s'écrit :

$$[C] = \begin{pmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix} , \tag{4.1.4}$$

où $A = B = 8.011 \times 10^{37}$ kg m² et $C = 8.037 \times 10^{37}$ kg m² sont les moments d'inertie principaux moyens de la Terre et les c_{ij} de petits incréments d'inertie dus aux déformations ou aux anomalies de masse.

En explicitant l'équation (4.1.1) dans le repère terrestre (repère tournant) :

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma} , \tag{4.1.5}$$

les composantes de ces vecteurs diffèrent alors de celles dans l'équation (4.1.1) qui était écrite dans le repère céleste. En limitant le calcul au premier ordre en m_i et c_{ij} et en adoptant les notations complexes $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$, $\tilde{\Gamma} \equiv \Gamma_1 + i\Gamma_2$, $\tilde{h} \equiv h_1 + ih_2$ et $\tilde{c} \equiv c_{13} + ic_{23}$, on obtient les équations de Liouville linéarisées :

$$\begin{aligned} \tilde{m} + \frac{i}{\epsilon\Omega_0} \dot{\tilde{m}} &= \frac{i\tilde{\Gamma}}{A\epsilon\Omega_0^2} - \frac{i\tilde{c} - \Omega_0\tilde{c}}{A\epsilon\Omega_0} - \frac{i\dot{\tilde{h}} - \Omega_0\tilde{h}}{A\epsilon\Omega_0^2} , \\ m_3 &= \int \frac{\Gamma_3}{C\Omega_0} dt - \frac{c_{33}}{C} - \frac{h_3}{C\Omega_0} + C^{te} , \end{aligned} \tag{4.1.6}$$

où $\epsilon = (C - A)/A$ est l'aplatissement dynamique de la Terre, et $\epsilon\Omega_0$ n'est autre que la fréquence d'Euler, correspondant à une période de 305 jours. Ces équations donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre en fonction d'une excitation qui apparaît sous la forme d'un moment de force extérieur (Γ_i) ou bien d'un déplacement de masse surfacique ou interne (moment cinétique relatif h_i), ou encore sous forme de déformations (les termes c_{ij} du tenseur d'inertie). Toutefois, ces variations c_{ij} sont causées en partie par des mouvements de masses produits par une force externe ou interne ou inertielle (gravitation lunisolaire, effet de charge océanique, atmosphérique, effet centrifuge induit par les variations de la vitesse de rotation, etc.). Le membre de droite prend le nom de fonction d'excitation. La partie indépendante du couple,

comprenant donc les déformations et le moment cinétique relatif, est souvent notée $\tilde{\chi}$ pour la partie équatoriale et χ_3 pour la partie axiale.

4.1.3.2. Le mouvement du pôle

Les équations de Liouville nous donnent le mouvement de l'axe instantané de rotation dans le repère terrestre. L'axe du CIP est légèrement différent de cet axe. On peut montrer que la relation entre les coordonnées \tilde{m} du pôle instantané de rotation et les coordonnées $\tilde{p} = x_p - iy_p$ (comptées par convention dans un repère indirect) du CIP dans le repère terrestre est :

$$\tilde{m} = \tilde{p} - \frac{i}{\Omega_0} \dot{\tilde{p}}. \quad (4.1.7)$$

4.1.3.3. La durée du jour

L'excès de la longueur du jour par rapport au jour solaire moyen (86 400 s) est :

$$\Delta LOD = -\frac{2\pi k}{\Omega_0} m_3, \quad (4.1.8)$$

où $k = 1.002737909350795$ est le rapport de la durée du jour solaire moyen sur la durée du jour sidéral moyen.

4.1.3.4. La précession-nutation

La précession-nutation peut être déduite des changements du vecteur instantané de rotation par les relations cinématiques d'Euler :

$$\begin{aligned} \dot{\theta} + i\dot{\Psi} \sin \theta &= -\Omega_0 \tilde{m} e^{i\phi}, \\ \dot{\phi} + \dot{\Psi} \cos \theta &= \Omega_0 (1 + m_3), \end{aligned} \quad (4.1.9)$$

où ψ est l'angle entre l'origine des longitudes sur l'écliptique moyen de l'époque de référence (équinoxe moyen) et le nœud ascendant de l'équateur sur l'écliptique, θ est l'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique (comptée à partir de l'équateur), et ϕ est la longitude écliptique de l'origine du repère terrestre. Ces deux angles sont reliés aux angles de nutation classiques ψ et ϵ suivant $\Delta\Psi \sin \theta = \Delta\psi \sin \epsilon$ et $\Delta\theta = -\Delta\epsilon$. La précession est constituée par la partie polynomiale des variations de Ψ et θ . Leur partie périodique constitue la nutation.

4.2. LA PRÉCESSION

4.2.1. Quantités liées à la précession

Les quantités de précession sont complètement déterminées par les mouvements du pôle de l'équateur et du pôle de l'écliptique. La figure 4.2 représente, pour une époque de référence F (par exemple J2000) et pour une date D, les écliptiques moyennes E_F et E_D et les équateurs moyens A_F et A_D . N est l'intersection de E_F et E_D , J l'intersection de A_F et A_D , I l'intersection de E_F et A_D . ε_0 , angle entre E_F et A_F , est l'obliquité de l'écliptique pour l'époque de référence.

Les quantités liées à la précession sont définies de la manière suivante, en adoptant les notations de Lieske et al. (1977) :

$$\begin{array}{lll}
 \pi_A, \text{ l'angle entre } E_F \text{ et } E_D; & \Pi_A, \text{ l'arc } \gamma_F N; & \mathcal{P}_A, \text{ l'arc } (\gamma_D N - \gamma_F N); \\
 \theta_A, \text{ l'angle entre } A_F \text{ et } A_D; & \zeta_A, \text{ l'arc } (90^\circ - \gamma_F J); & z_A, \text{ l'arc } (\gamma_D J - 90^\circ); \\
 \omega_A, \text{ l'angle entre } E_F \text{ et } A_D; & \psi_A, \text{ l'arc } I \gamma_F; & \chi_A, \text{ l'arc } I \gamma_D; \\
 \varepsilon_A, \text{ l'angle entre } E_D \text{ et } A_D. & &
 \end{array} \tag{4.2.1}$$

On note :

$$P_A = \sin \pi_A \sin \Pi_A, \quad Q_A = \sin \pi_A \cos \Pi_A \tag{4.2.2}$$

4.2.2. Modèles de précession

La résolution B1.6 adoptée à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI, 2001) recommande de remplacer, à partir du 1 janvier 2003, le modèle UAI 1980 de la nutation par le modèle de la nutation UAI 2000A (ou sa version réduite UAI 2000B). UAI 2000A est issu du modèle MHB2000, basé sur la fonction de transfert de Mathews et al. (2002) appliquée aux séries de la nutation pour une Terre rigide de Souchay et al. (1999) (*cf.* 4.3).

Ces séries pour la nutation ne fournissent pas d'expression pour la précession et pour cette raison l'UAI « encourage le développement de nouvelles expressions de la précession compatibles avec le modèle UAI 2000A » (encouragement 3 de la résolution B1.6). En attendant, l'IERS (International Earth rotation and Reference systems Service) a recommandé (IERS Conventions 2003) l'utilisation d'un formulaire qui est une amélioration de celui de Lieske et al. (1977). Nous noterons UAI 2000 ce modèle.

En 2003, trois nouveaux formulaires de la précession ont été donnés par Bretagnon et al. (2003), Capitaine et al. (2003) et Fukushima (2003). Ils ont été comparés par Capitaine et al. (2004) et sont étudiés par le working group de l'UAI sur la précession, chargé de proposer une théorie de la précession compatible avec le modèle UAI 2000A.

Nous allons présenter le modèle UAI 2000 et les modèles de Bretagnon et al. (2003) et Capitaine et al. (2003) qui, bien qu'obtenus par des méthodes différentes, donnent des résultats très voisins.

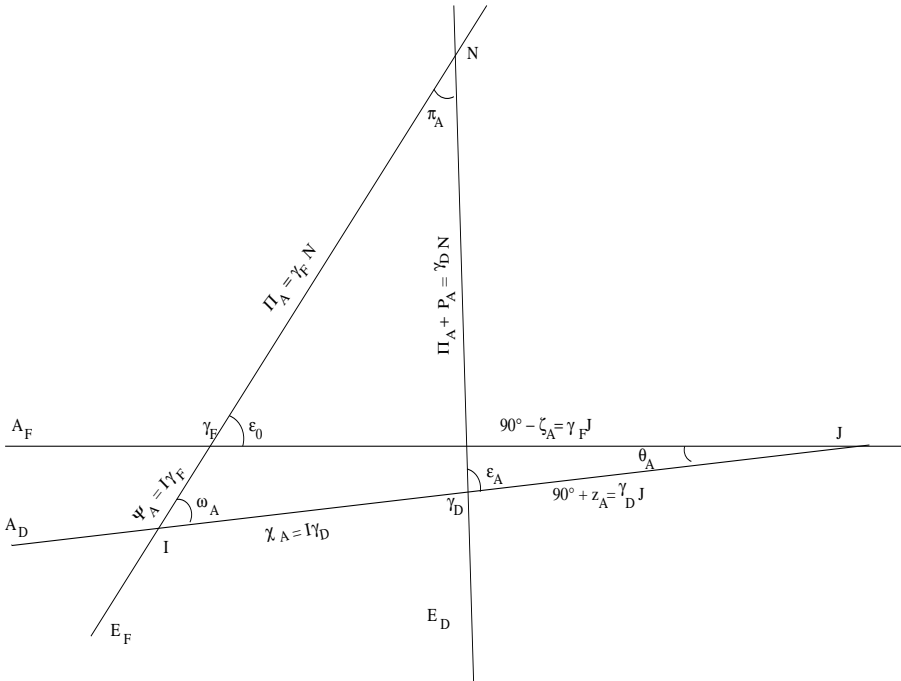


Fig. 4.2. Écliptiques E_F, E_D et équateurs moyens A_F, A_D aux époques σ_F, σ_D .

4.2.2.1. Le modèle UAI 2000

Les conventions 2000 de l'IERS recommandent d'associer les expressions de Lieske et al. (1977) avec des valeurs numériques améliorées des termes proportionnels au temps pour les angles Π_A et ω_A et avec la valeur UAI 1976 de l'obliquité ϵ_0 . Ces corrections sont :

$$\begin{aligned} \delta(\psi_A) &= -2.9965''/\text{millier d'années juliennes} \\ \delta(\omega_A) &= -0.2524''/\text{millier d'années juliennes} \\ \epsilon_0 &= 84381.448'' = 23^\circ 26' 21.448'' \end{aligned} \tag{4.2.3}$$

Notons que $\frac{d\omega}{dt}$ est, en principe, donné par la théorie. La correction $\delta(\omega_A)$ apportée par l'UAI est déduite de l'observation. Elle se justifie du fait que, par erreur, les formules de Lieske et al. (1977) donnaient $\frac{d\omega}{dt} = 0$.

La valeur de $\frac{d\psi_A}{dt}$ déduite de $\delta(\psi_A)$ est :

$$\frac{d\psi_A}{dt} = 50\,384.7875''/\text{millier d'années juliennes}. \tag{4.2.4}$$

Elle correspond à une valeur de la constante de la précession $\mathcal{P}_1 = \frac{d\mathcal{P}}{dt}$ égale à :

$$\mathcal{P}_1 = 50\,287.92262''/\text{millier d'années juliennes} \tag{4.2.5}$$

Par ailleurs, le formulaire de Lieske et al. (1977) utilise les variations séculaires du pôle de l'écliptique issues de la théorie du Soleil de Newcomb et d'anciennes valeurs des masses des planètes. Malgré les améliorations apportées, le modèle UAI 2000 reste donc insuffisant.

4.2.2.2. Le modèle de Bretagnon, Fienga et Simon (2003)

Ce modèle est issu de la théorie de la rotation de la Terre SMART97 (Bretagnon et al., 1998). Cette théorie est une solution analytique des trois angles d'Euler (précession en longitude, précession en obliquité, angle de rotation de la Terre) orientant la Terre rigide par rapport au repère inertiel J2000. Les perturbations lunaires, solaires et planétaires sont introduites globalement dans les équations sous leur forme analytique. Les théories utilisées sont les solutions VSOP87 (Bretagnon et Francou, 1988) pour le mouvement du Soleil et des planètes et ELP2000-82B issue des travaux de Chapront-Touzé et Chapront (1983, 1988) pour le mouvement de la Lune.

Les expressions de la précession sont calculées de la manière suivante. Les valeurs de $\frac{d\psi_A}{dt}$ et \mathcal{P}_1 utilisées sont celles données par les formules (4.2.4) et (4.2.5). La valeur de ε_0 provient d'observations récentes :

$$\varepsilon_0 = 84381.40880'' = 23^\circ 26' 21.40880''. \quad (4.2.6)$$

Les quantités liées à la précession de l'écliptique π_A , Π_A , P_A , Q_A sont des polynômes du temps issus de Simon et al. (1994), avec les corrections nécessitées par la nouvelle valeur de la constante de la précession.

Les quantités liées à la précession de l'équateur ψ et ω sont les séries de Poisson données par SMART97. À partir de π_A , Π_A , ψ et ω on peut calculer toutes les autres quantités de la précession (Bretagnon et al., 1997). Finalement les variables ψ , ω , \mathcal{P} , ε et χ ont la forme de séries de Poisson dont la partie en polynôme du temps correspond à la précession (*cf.* 4.1.3.4). Les autres variables ont la forme de polynômes du temps.

La correction la plus importante due à la non-rigidité de la Terre provient de la variation séculaire du J_2 de la Terre en fonction du temps. Elle a été calculée par Williams (1994). Elle conduit à une correction de $-0.700''t^2$ du terme en t^2 de ψ_A . Dans la suite, la notation B03 se rapporte au modèle de Bretagnon et al. (2003) corrigé de cet effet de la variation séculaire du J_2 de la Terre.

4.2.2.3. Le modèle UAI 2006

Le modèle de précession adopté par l'UAI en 2006 (résolution B1) est présenté dans Hilton et al. (2006). Il est issu des travaux de Capitaine, Wallace et Chapront (2003) et était désigné par P03 dans les éditions antérieures à 2009. Pour calculer les quantités liées à la précession de l'écliptique les auteurs partent de VSOP87. Cette théorie analytique étant ajustée à l'intégration numérique du JPL DE200 (Standish et al., 1981), ils corrigent son écliptique par comparaison avec l'intégration numérique DE406 du JPL, prolongement sur l'intervalle de temps $[-3000, +3000]$ de DE405 (Standish, 1998), intégration numérique ajustée à des observations récentes.

Les quantités liées à la précession équatoriale sont obtenues en résolvant les équations dynamiques de la précession selon la méthode exposée par Williams (1994). Les corrections dues

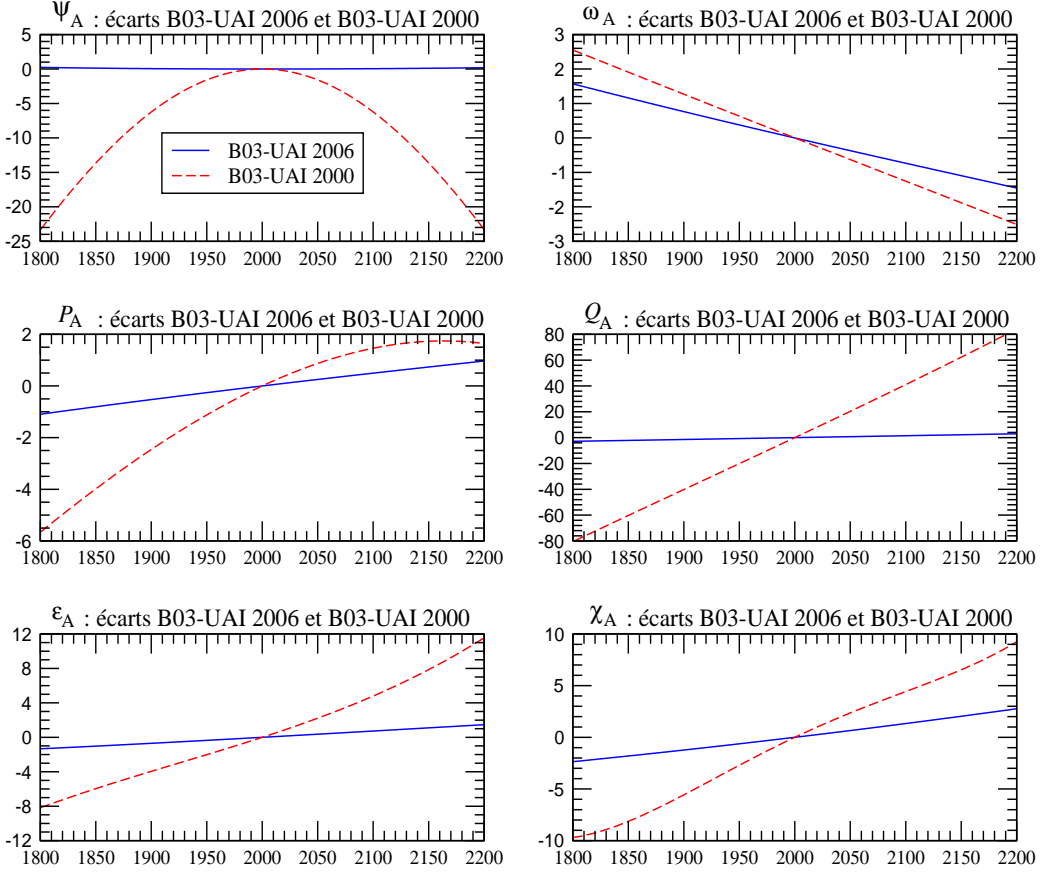


Fig. 4.3. Écarts entre les modèles B03 et UAI 2006 et entre les modèles B03 et UAI 2000, sur [1800, 2200], pour les variables ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . L'unité est le mas (0.001'').

à la non-rigidité de la Terre sont prises en compte d'une manière très complète.

Les auteurs prennent la valeur de ε_0 recommandée par les IERS Conventions 2000. Ils déterminent $\frac{d\psi_A}{dt}$ en utilisant la valeur de Mathews et al. (2002) après l'avoir corrigée de certains effets perturbateurs dus aux observations, de façon à la rendre compatible avec la nouvelle valeur de ε_0 . Ils ont finalement :

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_A}{dt} &= 50\,384.81507''/\text{millier d'années juliennes} \\ \varepsilon_0 &= 84381.406'' \end{aligned} \tag{4.2.7}$$

4.2.2.4. Expressions de la précession et comparaisons entre les modèles

La table 4.2.1. donne les coefficients des polynômes du temps représentant la précession pour les douze variables définies par (4.2.1) et (4.2.2) et pour les trois modèles UAI 2000, B03 et UAI 2006. Ces polynômes peuvent aller jusqu'en t^3 pour UAI 2000, t^7 pour B03 et t^5 pour UAI 2006. Les coefficients sont exprimés en secondes de degré et le temps est compté en millier d'années juliennes à partir de J2000.

On peut constater que les modèles B03 et UAI 2006 sont voisins et assez différents du modèle UAI 2000. Ces différences sont illustrées par la figure 4.3. Les courbes de cette figure représentent les écarts sur l'intervalle de temps [1800, 2200] entre les modèles B03 et UAI 2006 d'une part et B03 et UAI 2000 d'autre part, pour les six variables principales ψ_A , ω_A , P_A , Q_A , ε_A et χ_A . Elles ont été tracées en supposant que le terme en t de ψ_A et le terme constant de ε_A étaient les mêmes pour les trois modèles. Les différences sont exprimées en mas ($0.001''$). On voit que les écarts entre B03 et UAI 2006 sont petits. Ils sont inférieurs à 0.25 mas pour ψ_A sur l'ensemble de l'intervalle ; pour les autres variables ils sont inférieurs à 2 mas et sont essentiellement des dérivées linéaires. Les écarts avec UAI 2000 sont beaucoup plus importants et peuvent atteindre, par exemple, 25 mas pour ψ_A et 80 mas pour Q_A .

4.2.3. Dérivées des quantités de précession par rapport aux constantes \mathcal{P}_1 et ε_0

À partir des formules de Simon et al. (1994), nous pouvons calculer les corrections ΔX des quantités de précession X dues à d'éventuelles améliorations $\Delta \mathcal{P}_1$ et $\Delta \varepsilon_0$ de \mathcal{P}_1 et ε_0 . Ces corrections sont de la forme :

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial \mathcal{P}_1} \Delta \mathcal{P}_1 + \frac{\partial X}{\partial \varepsilon_0} \Delta \varepsilon_0. \quad (4.2.8)$$

Pour toutes les quantités de précession de la table 4.2.1, les corrections qui doivent être ajoutées aux polynômes sont données par :

$$\begin{aligned} \Delta P_A &= 0 \quad ; \quad \Delta Q_A = 0 \\ \Delta \pi_A &= 0 \quad ; \quad \Delta \Pi_A = 0 \\ \Delta \mathcal{P}_A &= \Delta \mathcal{P}_1 t + (0.0031 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 \\ \Delta \theta_A &= (0.3978 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.2236 \Delta \varepsilon_0) t - (0.0008 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 - (0.0025 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\ \Delta \zeta_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0009 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\ \Delta z_A &= (0.4588 \Delta \mathcal{P}_1 - 0.0485 \Delta \varepsilon_0) t + (0.0028 \Delta \mathcal{P}_1) t^2 + (0.0011 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\ \Delta \varepsilon_A &= \Delta \varepsilon_0 \\ \Delta \omega_A &= \Delta \varepsilon_0 - (0.0003 \Delta \mathcal{P}_1) t^3 \\ \Delta \psi_A &= (\Delta \mathcal{P}_1 - 0.0013 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0021 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0021 \Delta \varepsilon_0) t^2 \\ \delta \chi_A &= (-0.0012 \Delta \varepsilon_0) t + (-0.0057 \Delta \mathcal{P}_1 + 0.0027 \Delta \varepsilon_0) t^2 \end{aligned} \quad (4.2.9)$$

où $\Delta \mathcal{P}_1$ est mesuré en secondes de degré par millier d'années et $\Delta \varepsilon_0$ en secondes de degré.

Table 4.2.1. Coefficients des polynômes de la précession issus des formulaires UAI 2000, B03 (Bretagnon et al., 2003) et UAI 2006 (Hilton et al., 2003). Les coefficients sont exprimés en secondes de degré ; le temps est compté en milliers d'années juliennes à partir de J2000.

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000 B03 UAI 2006	P_A		41.976 41.99604 41.99094	19.447 19.39715 19.39873	- 0.179 - 0.22350 - 0.22466	- 0.01035 - 0.00912	0.00019 0.0012		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Q_A		- 468.150 - 468.09550 - 468.11015	5.059 5.10421 5.10283	0.344 0.52228 0.52413	- 0.00569 - 0.00646	- 0.00014 - 0.00172	0.00001	
UAI 2000 B03 UAI 2006	π_A		470.029 469.97560 469.98973	- 3.302 - 3.35050 - 3.34926	0.060 - 0.12370 - 0.12559	0.00030 0.00113	- 0.00022		
UAI 2000 B03 UAI 2006	Π_A	629 554.982 629 543.988 629 546.7936	- 8698.089 - 8679.218 - 8679.5758	3.536 15.342 15.7992	0.005 - 0.5371	- 0.037 - 0.4797	- 0.001 0.0072		
UAI 2000 B03 UAI 2006	\mathcal{P}_A		50287.92262 50287.92262 50287.96195	111.113 111.24406 110.54348	- 0.006 0.07699 0.07964	- 0.23479 - 0.23857	- 0.00178 - 0.00383	0.00018	0.00001
UAI 2000 B03 UAI 2006	ε_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 468.150 - 468.36051 - 468.36769	- 0.059 - 0.01667 - 0.01831	1.813 1.99911 2.00340	- 0.00523 - 0.00576	- 0.00248 - 0.00434	- 0.00003	
UAI 2000 B03 UAI 2006	ω_A	84381.448 84381.40880 84381.406	- 0.25240 - 0.26501 - 0.25754	5.127 5.12769 5.12623	- 7.726 - 7.72723 - 7.72503	- 0.00492 - 0.00467	0.03329 0.0337	- 0.00031	- 0.00006
UAI 2000 B03 (¹) UAI 2006	ψ_A		50384.78750 50384.78750 50384.81507	- 107.259 - 107.89530 - 107.90069	- 1.147 - 1.14366 - 1.14045	1.32832 1.32851	- 0.00940 - 0.00951	- 0.00350	0.00017
UAI 2000 B03 UAI 2006	χ_A		105.526 105.57686 105.56403	- 238.064 - 238.13769 - 238.14292	- 1.125 - 1.21258 - 1.21197	1.70238 1.70663	- 0.00770 - 0.00560	- 0.00399	0.00016

(¹) avec la correction provenant de la variation du J_2 de la Terre calculée par Williams (1994), dans le terme en t^2 .

Table 4.2.1. (fin).

Modèle		t^0	t	t^2	t^3	t^4	t^5	t^6	t^7
UAI 2000	θ_A		20043.109	- 42.665	- 41.883				
B03			20041.90936	- 42.66980	- 41.82364	- 0.07291	- 0.01127	0.00036	0.00009
UAI 2006			20041.91903	- 42.94934	- 41.82264	- 0.07089	- 0.01274		
UAI 2000	ζ_A		23062.181	30.188	17.998				
B03		2.72767	23060.80472	30.23262	18.01752	- 0.05708	- 0.03040	- 0.00013	
UAI 2006		2.650545	23060.83227	29.88499	18.01828	- 0.05971	- 0.03173		
UAI 2000	z_A		23062.181	109.468	18.203				
B03		- 2.72767	23060.76070	109.56768	18.26676	- 0.28276	- 0.02486	- 0.00005	
UAI 2006		- 2.650545	23060.77181	109.27348	18.26837	- 0.28596	- 0.02904		

4.3. MODÈLES DE NUTATION

Cette section introduit les développements théoriques et les concepts géophysiques sur lesquels est construit le modèle de précession-nutation MHB2000 (Mathews et al., 2002), base du modèle IAU2000. Il présente aussi les principales différences entre cette nouvelle modélisation et le modèle dynamique de Wahr (1981) qui a servi de base au modèle IAU1980 (Seidelmann, 1982).

4.3.1. Introduction

Les planètes et les satellites de notre système solaire sont tous animés d'un mouvement de rotation sur eux-mêmes. Si ces corps étaient sphériques, rigides et isolés, leur rotation resterait uniforme au cours du temps. Mais l'interaction gravitationnelle entre les corps célestes proches ou très massifs perturbe leur rotation en créant des variations de la durée d'une rotation (longueur du jour) et en modifiant l'orientation de l'axe de rotation par rapport à la surface de la planète (mouvement du pôle) et dans l'espace (précession-nutation). La définition précise de ces mouvements et leur séparation sont établies à partir de leurs fréquences. Dans la pratique, le mouvement du pôle est défini par le mouvement dans le repère terrestre d'un pôle fictif, le CIP. Dans cette définition on exclut le mouvement diurne rétrograde dans le repère terrestre qui est pris en compte, dans le repère céleste, par la nutation (*cf.* 4.1.1).

À cause de leur élasticité, de leur rotation et de leur dynamique interne, les corps du système solaire ne sont pas sphériques. Ils présentent notamment un renflement à l'équateur. De plus, l'axe associé à leur rotation n'est pas toujours perpendiculaire au plan de l'orbite. Par conséquent, l'attraction gravitationnelle exercée par le Soleil et les autres corps massifs ou proches ne s'exerce pas symétriquement sur le bourrelet équatorial. Ceci crée un couple de forces tendant à aligner l'axe de rotation sur le plan de l'orbite. À cause de ces effets, ces corps réagissent comme un gyroscope :

leur axe de rotation décrit un cône d'ouverture constante. Ce mouvement est appelé précession astronomique.

Comme les positions relatives des corps du système solaire varient de façon périodique, le moment du couple de forces qui agit sur le bourrelet équatorial n'est pas constant. Ceci entraîne des oscillations de l'axe de rotation autour du cône de précession, ce sont les nutations astronomiques. Enfin, la présence sur notre planète de couches fluides superficielles (atmosphère, hydrosphère, océan) et celle d'une couche fluide interne (noyau liquide) entraînent des variations additionnelles de la rotation.

Le calcul du moment des forces astronomiques et des nutations pour une Terre rigide qui y sont associées, s'effectue dans un cadre de mécanique céleste en utilisant des éphémérides de position des planètes et de la Lune. En outre, la Terre ne peut être considérée comme un corps rigide et doit donc être traitée comme un système complexe : sa réponse au moment de force astronomique est altérée par les interactions internes au système Terre. Ce système est constitué de trois couches principales :

- un manteau viscoélastique en convection ;
- un noyau liquide, composé principalement de fer liquide et qui est le lieu d'intenses mouvements hydromagnétiques associés à la création et à l'entretien du champ magnétique terrestre ;
- une graine solide, composée également principalement de fer.

Dans le cadre des nutations, la convection et la viscosité dans le manteau, les interactions fluides-solides (pression et friction essentiellement) entre le noyau et le manteau et entre le noyau et la graine, ont un effet observable sur la réaction de la Terre à l'excitation astronomique. Pour tenir compte de ces facteurs, on définit une *fonction de transfert*, c'est-à-dire une fonction qui donne la réponse de la Terre à une force d'excitation unitaire. Les développements théoriques et les observations nous ont montré que cette fonction est différente pour des fréquences différentes. Elle est donc donnée en fonction de la fréquence de l'excitation.

Les nutations sont observées très précisément par les techniques de pointe de la géodésie spatiale (essentiellement le VLBI). On peut donc calculer une fonction de transfert empirique, comme le rapport entre la réponse de la Terre à chaque fréquence et la réponse au moment de force astronomique qu'aurait une Terre rigide. On peut aussi, à partir des connaissances actuelles de l'intérieur de la Terre, calculer une fonction de transfert théorique par intégration numérique d'équations aux déformations. La comparaison entre les deux approches permet d'évaluer et d'améliorer la fonction de transfert théorique. Ceci a conduit les scientifiques à converger vers un modèle adopté par les unions internationales, en 2000 par l'UAI et en 2003 par l'Union de Géodésie et Géophysique Internationale (UGGI). Le modèle de précession-nutation adopté est un modèle semi-analytique, c'est-à-dire basé sur une fonction de transfert pour un modèle simple de Terre dont quelques paramètres physiques sont estimés de manière à minimiser les résidus entre les nutations observées et les nutations modélisées. Ce type de modèle est un bon compromis entre un modèle numérique basé sur les observations, plus précis, mais n'apportant aucune information sur la physique, et un modèle purement théorique, qui est une mine d'informations sur la physique, mais n'est pas encore assez précis pour l'utilisation dans la réduction des observations. Toutefois, le développement de tels modèles théoriques est un passage obligé pour une meilleure compréhension et une meilleure modélisation des interactions qui se produisent dans le système Terre.

Le modèle actuellement adopté est construit sur une théorie simplifiée, mais déjà très complexe, qui utilise les équations de bilan du moment cinétique dans un repère lié à la Terre. Elles consistent à exprimer d'une part, les couples de force qui agissent sur la Terre et aux différentes interfaces à l'intérieur de la Terre, et d'autre part, les variations temporelles du moment cinétique des différentes couches à l'intérieur de la Terre. Celui-ci fait intervenir, pour chaque couche, les répartitions des masses à l'intérieur de la couche dans des surfaces déformées et la rotation propre de cette couche. Ces équations appelées *équations de Liouville* (cf. 4.1.3.1) permettent d'obtenir la position de l'axe de rotation instantané dans le repère terrestre (le mouvement du CIP est déduit par des relations simples pour chacune des fréquences en jeu). Les théoriciens utilisent des approximations linéaires en de petites quantités dans les équations pour résoudre le système.

Un ensemble d'améliorations a été considéré dans le dernier modèle adopté MHB2000 :

- Le modèle intègre la présence d'une graine penchée à l'intérieur du noyau liquide (on considère que l'axe principal d'inertie de la graine et celui du noyau peuvent être non alignés) dans un champ magnétique et considère l'ensemble des couplages gravitationnels entre les différentes couches ellipsoïdales à l'intérieur de la Terre, ainsi que les couplages électromagnétiques aux deux interfaces du noyau.
- Les déformations sont traitées par l'intermédiaire des changements dans la matrice d'inertie (représentant la répartition des masses à l'intérieur de la Terre ou des différentes couches) et des changements de forme des interfaces et de la surface de la Terre.
- Les effets des marées des océans à la surface de la Terre engendrées par les forces gravitationnelles de la Lune et du Soleil sont également pris en considération.
- Les effets diurnes de l'atmosphère ne sont pris en compte que pour une fréquence (la fréquence correspondant à exactement un jour solaire est la fréquence principale de ce phénomène), et l'amplitude est évaluée à partir des observations.

Il est à noter que le modèle contient des résonances à cause de la forme ellipsoïdale de la graine et du noyau. Les modes de vibration propre d'un système sont liés à sa forme, sa composition et sa structure. Ces résonances induisent des amplifications dans des fréquences proches de $(1+1/430)$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre du noyau et de $11/1000$ cycle/jour, fréquence de la nutation libre de la graine.

4.3.2. Précession, nutation et mouvement du pôle

Les théories géophysiques de nutation pour une Terre non rigide supposent, en première approximation, que la Terre est un ellipsoïde de symétrie axiale. A désigne les moments d'inertie par rapport aux axes équatoriaux et C le moment d'inertie par rapport à l'axe polaire. On a $C = (1 + \epsilon)A$ où ϵ est l'*ellipticité dynamique* qui vaut environ $1/300$. (En astronomie, on note $H_d \equiv \epsilon/(1 + \epsilon)$, l'ellipticité dynamique). Le mouvement de nutation est engendré par le moment des forces agissant sur la Terre autour d'un axe équatorial. Ce moment de force est produit par l'attraction gravitationnelle des objets du système solaire (principalement la Lune et le Soleil) sur la structure ellipsoïdale de la Terre caractérisée par le paramètre ϵ ; le moment de force est donc proportionnel à ϵ . La majeure partie du travail mis en place pour obtenir une modélisation précise de la nutation

porte sur cette partie dynamique dominante, présentant un spectre de basses fréquences avec des fréquences de moins de 1/2 cycle par jour sidéral (cpsd, cycle per sidereal day) en amplitude, 1 cpsd étant équivalent à la fréquence angulaire moyenne Ω_0 de la rotation de la Terre. On présentera ici les principaux aspects de ces modèles. D'autres composantes à basses fréquences de la nutation sont produites par de petites déviations *axisymétriques* par rapport à une structure strictement ellipsoïdale. Des composantes de la nutation de fréquence supérieures à 1/2 cpsd sont générées par de petites déviations de la distribution de densité de la Terre par rapport à la symétrie axiale. Elles doivent être considérées, d'après les résolutions adoptées par l'UAI en 2000 (UAI, 2001), comme mouvement du pôle. Des expressions relativement simples suffisent à décrire l'ensemble de ces composantes. La précession et la nutation sont, respectivement, la partie séculaire et la partie oscillatoire (avec un spectre en fréquences complet) des variations par rapport à des "étoiles fixes" de l'*axe de figure*, ou de façon équivalente, du mouvement du pôle céleste de cet axe. Dans la suite, le terme "axe de figure" se réfère à l'axe de symétrie de la Terre *sans aucune déformation*. Les nutations de l'axe de rotation ou de l'axe du moment d'inertie sont étroitement liées à celles de l'axe de figure et ne seront pas traitées ici. Ensemble, précession et nutation sont nécessairement liées au mouvement du pôle, c'est-à-dire au mouvement de l'axe instantané de rotation de la Terre par rapport à un repère de référence terrestre. Une rotation autour d'un axe autre qu'un axe de symétrie fait apparaître un mouvement de "chancellement".

4.3.3. Équations cinématiques et présentation des équations dynamiques

La précession-nutation est liée au mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau par des *relations cinématiques* qui rendent possible la détermination de l'un par l'autre. Ces relations nécessitent que la fréquence du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau associé à une nutation circulaire de fréquence ν cpsd soit $\sigma = \nu - 1$ cpsd, et que son amplitude $\tilde{m}(\sigma)$ et l'amplitude $\tilde{\eta}(\nu)$ de la nutation soient liées par

$$\tilde{m}(\sigma) = -(1 + \sigma)\tilde{\eta}(\nu), \quad \sigma = \nu - 1, \quad (4.3.1)$$

et cela, indépendamment du choix de la modélisation rigide ou non rigide de la Terre. La fonction de transfert, définie comme le rapport (sous forme d'une fonction de la fréquence) entre l'amplitude d'un modèle de Terre réaliste (non rigide) et celle obtenue à partir d'un modèle de Terre rigide, est alors la même pour les nutations et les mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau associés :

$$\frac{\tilde{\eta}(\nu)}{\tilde{\eta}_R(\nu)} = \frac{\tilde{m}(\sigma)}{\tilde{m}_R(\sigma)}, \quad (4.3.2)$$

où l'indice R indique les amplitudes pour une Terre rigide. Les amplitudes de la nutation sont celles de nutations circulaires progrades et rétrogrades, qui apparaissent par paires avec les fréquences $\nu_p > 0$ et $\nu_r = -\nu_p < 0$. La contribution de chacune d'entre elles à $\Delta\psi(t)$ et $\Delta\epsilon(t)$ est :

$$(\Delta\psi(t) \sin \epsilon_0 + i\Delta\epsilon(t))_\nu = -i\tilde{\eta}(\nu)e^{i\Xi_\nu(t)}, \quad (4.3.3)$$

où $\Xi_\nu = \pm(\arg)$ pour la composante prograde ($\nu = \nu_p$), (\arg) étant l'argument du terme des séries de la nutation considéré ; \pm est le signe de $d(\arg)/dt$ ou de la période de ce terme de nutation (par

exemple, $-$ pour le terme de 18.6 ans et $+$ pour le terme annuel) ; et $d\Xi_\nu/dt = \nu_p \Omega_0$. Pour le terme rétrograde, \pm doit être remplacé par \mp . L'équation (4.3.3) conduit aux relations reliant $\tilde{\eta}(\nu_p)$ et $\tilde{\eta}(\nu_r)$ aux coefficients de $\cos(\arg)$ et $\sin(\arg)$ dans $\Delta\psi$ et $\Delta\epsilon$ (voir, par exemple, Defraigne et al., 1995).

Les *équations dynamiques* de la théorie MHB2000 sont les équations de bilan du moment cinétique décrites dans un repère de référence terrestre (équations de moments de force). On trouvera dans Mathews et al. (1991) une description générale de ces équations, qu'il faut encore compléter par des termes représentant les nouveaux aspects géophysiques du modèle.

Ces équations décrivent les variations des vecteurs vitesse angulaire Ω , Ω_f , Ω_s du manteau, du noyau externe fluide et du noyau interne solide, sous la forme

$$\Omega = \Omega_0(\mathbf{i}_3 + \mathbf{m}), \quad \Omega_f = \Omega + \Omega_0 \mathbf{m}_f, \quad \Omega_s = \Omega + \Omega_0 \mathbf{m}_s, \quad (4.3.4)$$

où $\Omega_0 \mathbf{i}_3 \equiv \Omega_0$ est le vecteur vitesse angulaire moyenne du manteau, \mathbf{i}_3 étant son axe de moment d'inertie maximum, que l'on choisit confondu avec l'axe polaire du repère terrestre de référence (TRF, Terrestrial Reference Frame). Les deux premières composantes (équatoriales) de \mathbf{m} sont les variables du mouvement de l'axe instantané de rotation du manteau. Celles de \mathbf{m}_f et \mathbf{m}_s représentent des mouvements des axes instantanés de rotation différentielle du noyau externe fluide et de la graine solide par rapport au manteau. Les troisièmes composantes de ces vecteurs décrivent les variations des vitesses de rotation de chacune des régions. Un autre paramètre à introduire dans la dynamique du problème est la déviation \mathbf{n}_s de la direction de l'axe de symétrie de la graine par rapport à \mathbf{i}_3 . Les trois équations de bilan du moment cinétique ainsi que l'équation cinématique reliant \mathbf{n}_s à \mathbf{m}_s , constituent un système de quatre équations vectorielles couplées pour les variables dynamiques \mathbf{m} , \mathbf{m}_f , \mathbf{m}_s , et \mathbf{n}_s (toutes très faibles en amplitude, typiquement d'environ 10^{-8} radian). Les propriétés de la Terre importantes pour la nutation sont prises en considération dans ces équations par l'intermédiaire de paramètres que nous appellerons dans la suite les BEP (Basic Earth Parameters). Par exemple, les ellipticités dynamiques de la Terre globale e , du noyau fluide e_f et de la graine solide e_s font partie des BEP, de même que les paramètres représentant les déformations des différentes régions. Dans les équations de bilan du moment cinétique, les termes non linéaires par rapport aux variables dynamiques ne contribuent que marginalement aux solutions. Il faut donc, en premier lieu, linéariser les équations, ce qui transforme le système des quatre équations en deux systèmes d'équations indépendants, l'un pour les mouvements de l'axe instantané de rotation, impliquant seulement les deux premières composantes de chacun des quatre vecteurs, et l'autre pour les variations des vitesses de rotation. Les solutions du système homogène des équations des mouvements de l'axe instantané de rotation donnent les fréquences des modes normaux de rotation de la Terre (on considère les moments de force extérieurs nuls). La solution du système non-homogène donne les mouvements forcés pour les trois régions en réponse à un potentiel extérieur connu. Une fois les amplitudes des mouvements de l'axe instantané de rotation du manteau calculées pour une Terre non rigide, la fonction de transfert est obtenue directement, puisque l'amplitude de ces mouvements pour une Terre rigide est une fonction très simple de la fréquence. Les amplitudes des nutations pour une Terre non rigide peuvent alors être déterminées en multipliant les amplitudes correspondantes pour une Terre rigide par la fonction de transfert. Des tables regroupant les amplitudes des nutations pour une Terre rigide sont disponibles avec des précisions inférieures à 1 microseconde de degré (μs). Sur la base d'études théoriques poussées,

des groupes de scientifiques tels que Bretagnon et al. (1998), Roosbeek et Dehant (1998), Souchay et al. (1999), ont calculé ces tables.

Après avoir effectué les calculs basés sur l'approximation linéaire, on peut prendre en considération, par des méthodes de perturbation, les corrections dues aux termes non linéaires négligés.

4.3.4. Modèle géophysique

Les résultats obtenus dépendent du modèle géophysique utilisé. La théorie de Wahr (1981), base de la série de nutation IAU 1980 (Seidelmann, 1982), suppose que la Terre est un ellipsoïde à symétrie axiale en rotation, élastique et sans océan ni atmosphère, avec un noyau fluide et un noyau interne solide. La distribution de densité et les propriétés d'élasticité sont celles d'une Terre en équilibre hydrostatique basée sur le modèle de Terre 1066A. Pour obtenir le modèle IAU 1980, la seule modification apportée au modèle de Wahr a été la valeur de l'ellipticité e permettant de retrouver la valeur observée de la constante de la précession. Par la suite, des corrections aux valeurs de la série IAU 1980 ont été calculées par Sasao et Wahr (1981) pour des effets induits par les marées océaniques et par Wahr et Bergen (1986) pour des effets induits par l'inélasticité du manteau. Ces effets entraînent un déphasage entre la réponse de la Terre et le potentiel d'excitation.

Un nombre important d'avancées dans la modélisation géophysique a été introduit dans la théorie MHB2000.

- On a tenu compte de la présence du champ magnétique qui traverse la frontière noyau-manteau et la frontière noyau-graine. Il en résulte un couplage électromagnétique qui modifie les mouvements de l'axe instantané de rotation du noyau fluide par rapport au manteau et à la graine.

- Une autre amélioration a été d'introduire l'interaction entre les différents types de réponses de la Terre à l'action des marées (mouvement de l'axe instantané de rotation, déformation de la Terre solide, marées océaniques) par une intégration globale des trois phénomènes. La contribution totale de l'inélasticité du manteau (par sa contribution sur les déformations), des marées océaniques et des couplages électromagnétiques, sur les nutations, calculée à partir d'une théorie intégrée globalement donne des différences allant jusqu'à 30 μ as par rapport à la somme de chacune des contributions prises individuellement. Ce qui montre l'utilité d'un tel traitement pour l'obtention de solutions de grande précision.

- Un nouveau pas significatif a été l'amélioration des paramètres du modèle de Terre qui influence les nutations par ajustement par moindres carrés, des amplitudes de nutation calculées théoriquement et de la constante de la précession, sur les valeurs très précises obtenues à partir des observations. Ceci était une continuation logique de l'ajustement de e par Wahr et de l'estimation de e_f par Gwinn et al. (1986) sur la base des observations disponibles à l'époque.

4.3.5. Réduction des équations de bilan du moment cinétique et mise en œuvre du modèle géophysique

Une version simplifiée des équations de bilan du moment cinétique suffit à donner une idée concrète de ce qui a été discuté précédemment. Nous ignorons la graine dans un premier temps. Dans ce cas, l'équation de bilan du moment cinétique par rapport à un repère terrestre s'écrit

$$\frac{d\mathbf{H}}{dt} + \boldsymbol{\Omega} \times \mathbf{H} = \boldsymbol{\Gamma}, \quad (4.3.5)$$

où $\boldsymbol{\Gamma}$ est le moment des forces agissant sur le corps, ici la Terre dans son ensemble, et \mathbf{H} est son moment angulaire tel que $\mathbf{H} = [C] \cdot \boldsymbol{\Omega} + [C_f] \cdot \boldsymbol{\omega}_f$, où $[C]$ et $[C_f]$ sont respectivement les tenseurs d'inertie de la Terre dans son ensemble et du noyau fluide seul. Le second terme est dû au mouvement de l'axe instantané de rotation du noyau par rapport à celui du manteau. Si les deux premières composantes de l'équation vectorielle sont décrites à l'aide des composantes de $\boldsymbol{\omega} = \Omega_o \mathbf{m}$ et $\boldsymbol{\omega}_f = \Omega_o \mathbf{m}_f$, en négligeant les termes de second ordre, on retrouve dans les équations obtenues (*équations de Liouville*) les termes hors diagonale c_{13} et c_{23} du tenseur d'inertie, en plus des deux premiers éléments diagonaux de $[C]$. Ces derniers sont égaux puisque l'on suppose une symétrie axiale, les termes hors diagonale étant nuls en l'absence de perturbations extérieures. En multipliant la seconde équation par i et en l'ajoutant à la première, on obtient une équation simple pour les quantités complexes $\tilde{m} \equiv m_1 + im_2$ et $\tilde{m}_f \equiv m_{f1} + im_{f2}$, $\tilde{c}_3 \equiv c_{13} + ic_{23}$ et $\tilde{c}_3^f \equiv c_{13}^f + ic_{23}^f$. Pour toutes ces quantités, l'indice ou l'exposant f se rapporte au noyau fluide. Pour les mouvements de l'axe instantané de rotation de fréquence σ cpsd, $\tilde{m} = \tilde{m}(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{m}_f = \tilde{m}_f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3 = c_3(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$, $\tilde{c}_3^f = c_3^f(\sigma)e^{i\sigma\Omega_o t}$ et l'équation s'écrit finalement

$$(\sigma - \epsilon)\tilde{m}(\sigma) + (1 + \sigma)(\tilde{c}_3(\sigma)/A) + (A_f/A)\tilde{m}_f(\sigma) = \tilde{\Gamma}(\sigma)/(iA\Omega_o^2). \quad (4.3.6)$$

Pour les termes principaux de nutation décrits en 4.3.1, le moment de force est presque entièrement dû à l'action de la partie tessérale de terme de degré deux (harmonique sphérique de degré 2 et d'ordre 1) du potentiel en ϵ : $\tilde{\Gamma}(\sigma) = -i\epsilon A \tilde{\phi}(\sigma)$.

Pour la Terre rigide (pas de déformation, pas de noyau), la solution de (4.3.6) est immédiate :

$$\tilde{m}_R(\sigma) = \frac{\epsilon}{(\epsilon - \sigma)} \tilde{\phi}(\sigma). \quad (4.3.7)$$

L'équation de bilan du moment cinétique pour le noyau fluide a la forme :

$$(\sigma + (1 + \epsilon_f)\tilde{m}_f(\sigma) + \sigma[\tilde{m}(\sigma) - \tilde{c}_3^f(\sigma)]) - K^{CMB} \tilde{m}_f(\sigma) = 0. \quad (4.3.8)$$

Le dernier terme représente le couplage électromagnétique entre le noyau et le manteau, K^{CMB} étant la constante complexe de couplage.

Les déformations du noyau et de la Terre globale sont représentées par \tilde{c}_3^f et \tilde{c}_3 , respectivement. Elles proviennent,

- (a) de l'action directe du potentiel de marées $\tilde{\phi}$,
- (b) de l'action des potentiels supplémentaires centrifuges produits par les rotations des différentes régions,

(c) de la surcharge sur la croûte des marées océaniques.

Les deux premiers points conduisent à l'expression

$$\tilde{c}_3 = A[\kappa(\tilde{m} - \tilde{\phi}) + \xi\tilde{m}_f], \quad \tilde{c}_3^f = A_f[\tilde{\gamma}(\tilde{\phi} - \tilde{m}) + \beta\tilde{m}_f], \quad (4.3.9)$$

où κ, γ, ξ , et β sont les paramètres de réponse de la Terre (appelé "compliance" dans les articles de Mathews et al.). Les deux premiers caractérisent les déformations de la Terre globale et du noyau fluide en réponse à l'action d'un potentiel extérieur ou du mouvement du pôle de rotation d'amplitude \tilde{m} ; ξ et β caractérisent les déformations en réponse au mouvement différentiel du pôle de rotation du noyau. Si on substitue (4.3.9) dans (4.3.6) et (4.3.8), ces équations dynamiques forment une équation matricielle dont l'inconnue est le vecteur colonne formé des composantes équatoriales \tilde{m}, \tilde{m}_f . Les valeurs propres de la matrice dynamique sont les fréquences des deux modes d'oscillations libres.

En absence d'inélasticité et de marées océaniques, les valeurs des paramètres de réponse de la Terre peuvent être calculées par intégration des équations de déformation pour un modèle de Terre donné, tel PREM de Dziewonski et Anderson (1981) utilisé dans MHB2000.

L'inélasticité du manteau produit des incréments complexes de ces valeurs; l'effet des marées océaniques peut aussi être pris en considération par l'introduction de termes supplémentaires, non seulement complexes mais aussi dépendant fortement de la fréquence σ du potentiel de marées.

Les incréments sont évalués en utilisant un modèle approprié d'inélasticité du manteau et un modèle pour les marées océaniques diurnes prises en compte pour les nutations, comme décrit dans Mathews et al. (2002). L'introduction de la solution des deux équations précédentes dans les représentations des déformations et des marées océaniques permet de prendre en considération les interactions entre les trois phénomènes.

L'introduction de la graine donne des termes additionnels dans les deux équations précédentes, (qui impliquent, maintenant, les variables \tilde{m}_s et \tilde{n}_s liées à la graine définies en 4.3.2) et deux équations supplémentaires, l'équation de bilan du moment cinétique pour la graine et l'équation cinématique reliant \tilde{n}_s à \tilde{m}_s . Les principes généraux décrits précédemment peuvent s'appliquer, en gardant à l'esprit que la matrice dynamique utilisée est maintenant une matrice 4×4 . Un point important est l'apparition du terme K^{ICB} représentant le couplage (électromagnétique) entre la graine et le noyau fluide dans les équations de moments de force pour les deux régions du noyau. L'impact de ce couplage sur les amplitudes d'un terme de nutation donné est complexe.

Comme il a été vu plus haut, les valeurs de e et e_f calculées à partir des modèles de Terre en équilibre hydrostatique ont dû être ajustées (d'environ 5% dans les travaux les plus récents) pour que les résultats des théories de nutation soient compatibles avec les observations. Or, grâce à l'amélioration de la qualité des observations de la nutation, les paramètres de la Terre, connus avec une précision limitée à partir des anciennes données observationnelles, peuvent être ajustés à des valeurs différentes de celles utilisées dans ces modèles de Terre, comme PREM. D'autre part, aucune estimation des paramètres K^{CMB} et K^{ICB} n'était disponible. Ayant ces remarques à l'esprit, Mathews et al. (2002) ont utilisé un ajustement par moindres carrés des quantités prédites par la théorie de nutation (dans son approximation linéaire) à des données observationnelles de nutation de très haute précision auxquelles ont été retirées les contributions non linéaires par optimisation des valeurs des BEP sélectionnés.

4.3.6. Estimation de la constante de la précession et formules pour les séries de la nutation

La valeur estimée de la constante de précession du modèle MHB2000 est obtenue directement à partir de la valeur de l'ellipticité e estimée précédemment. Comme pour les amplitudes de la nutation, on utilise au départ la solution d'un système d'équations mis en place avec des valeurs optimisées pour les paramètres de la Terre, puis on obtient une fonction de transfert en divisant $\tilde{m}(\sigma)$ par la solution pour la Terre rigide $\tilde{m}_R(\sigma)$ donnée par (4.3.7). Il faut cependant être prudent : la valeur de e obtenue pour une Terre non rigide n'est pas égale à la valeur e_R utilisée pour une Terre rigide. La différence entre ces valeurs nécessite la multiplication de la fonction de transfert déterminée précédemment par $[(e_r - \sigma)/(e + 1)] (e/e_R)$. On obtient ainsi l'amplitude du terme $\tilde{\eta}(\nu)$ pour une Terre non rigide en multipliant l'amplitude du terme $\tilde{\eta}_R(\nu)$ de nutation de la Terre rigide pour l'ellipticité e_R par la fonction de transfert modifiée et calculée pour la fréquence σ (dans l'approximation linéarisée des équations de moments de force). L'estimation de cette amplitude est faite pour chaque fréquence ν des séries de nutation de la Terre rigide. Les amplitudes de la nutation circulaire déterminées à partir du modèle de Terre rigide REN2000 de Souchay et al. (1999) ont été utilisées par Mathews et al. (2002) dans le calcul des amplitudes de la Terre non rigide correspondantes. Le résultat final inclut plusieurs petites corrections. Les premières sont celles, mentionnées précédemment, dues aux contributions des termes non linéaires dans les équations. D'autres modélisent un effet relativiste nommé *nutation géodésique* (voir par exemple Brumberg et al., 1992) ; d'autres, enfin, estimées empiriquement, se rapportent à l'effet des marées thermiques atmosphériques. Les amplitudes progrades et rétrogrades de la nutation sont enfin converties en coefficients de nutation en longitude et obliquité. Une correction due aux termes non linéaires est aussi appliquée à la constante de la précession.

Si tous les paramètres des équations de bilan du moment cinétique avaient été indépendants de la fréquence, on aurait pu calculer les amplitudes pour une Terre non rigide, pour toutes les fréquences, en appliquant les formules de la fonction de transfert aux amplitudes connues pour une Terre rigide, en utilisant les valeurs données par la théorie pour les fréquences des modes de nutation libre et les coefficients correspondants. Mais, puisque les contributions des effets de marées océaniques dans l'estimation des paramètres de la matrice dynamique sont dépendantes des fréquences, nous devons nous contenter d'une formulation approximative peu satisfaisante associée à des corrections à appliquer à certaines amplitudes de nutation. Ces corrections ont été déterminées à partir de la solution exacte des équations de bilan du moment cinétique calculée pour chaque fréquence. La formulation donnée par Mathews et al. (2002) pour la fonction de transfert est :

$$\frac{e_R - \sigma}{e + 1} \frac{e}{e_R} \left[1 + (1 + \sigma) \left(Q_0 + \sum_{\alpha=1}^4 \frac{Q_\alpha}{\sigma - s_\alpha} \right) \right] \quad (4.3.10)$$

où les s_α sont des compromis entre les fréquences propres des quatre oscillations libres. On trouvera des valeurs numériques et des résultats détaillés dans Mathews et al. (2002), ainsi que des discussions approfondies concernant les implications géophysiques des valeurs obtenues par ajustement aux observations de nombreux paramètres de la Terre. Les résonances associées à la nutation libre du noyau (FCN, Free Core Nutation et PFCN, Prograde Free Core Nutation) influencent fortement un grand nombre de termes de nutation forcés pour les fréquences proches

de leurs fréquences propres (en particulier la nutation annuelle rétrograde et la nutation en 18.6 ans). Grâce à l'impact de ces résonances, il a été possible de déduire de nombreuses propriétés physiques de la Terre jouant un rôle significatif dans la détermination et la caractérisation de ces modes.

Une question ouverte concerne l'effet des variations de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même sur la nutation de période 18.6 ans (Bretagnon et al., 2000). De cet effet pourraient résulter de petits termes non linéaires négligés dans les relations cinématiques (4.3.1) et (4.3.2). Depuis, il a été montré (Lambert et Capitaine, 2004) que cet effet pouvait être annulé si l'incrément du vecteur de moment de force induit par la variation de la vitesse de rotation était pris en considération. Par la suite, Lambert & Mathews (2006) ont traité la totalité des termes non linéaires qui complètent les équations de Liouville linéarisées, et calculé leurs effets sur la précession et la nutation.

4.3.7. Fréquences des nutations et mouvement du pôle

Afin de compléter cette description des variations de la rotation de la Terre (autres que celles de la vitesse de rotation de la Terre sur elle-même), nous allons considérer brièvement les variations induites par les déviations de la structure terrestre par rapport à un ellipsoïde axisymétrique. De telles structures sont décrites par l'intermédiaire des coefficients du géopotential (C_{nm}, S_{nm}) où $n = 3, 4, \dots$. Pour tout m différent de zéro, les nutations générées sont en dehors de la bande des basses fréquences. Ces mouvements peuvent aussi être considérés comme des mouvements du pôle de fréquences se trouvant en dehors de la bande de fréquences rétrogrades diurnes qui s'étend de $-(3/2)$ cpsd à $(-1/2)$ cpsd. C'est ce dernier point de vue qui est recommandé par l'UAI (2001). Ce mouvement est celui du pôle défini par ces résolutions, ses coordonnées dans le repère de référence terrestre étant notées $(x_p(t), -y_p(t))$. Les seules composantes spectrales du mouvement ayant des amplitudes supérieures à $1 \mu\text{as}$ correspondent soit à des mouvements de basses fréquences induits par un potentiel de marées d'ordre 3 et de degré 0 agissant sur les coefficients du géopotential ($C_{3,1}$ et $S_{3,1}$), soit à des mouvements du pôle diurnes progrades induits par un potentiel tesseral de degré 2 agissant sur les coefficients de triaxialité $C_{2,2}$ et $S_{2,2}$ (c'est-à-dire représentant les différences entre les deux principaux moments d'inertie équatoriaux). L'amplitude $\tilde{p}(\sigma)$ de la composante circulaire du mouvement du pôle est définie dans le premier cas par $\tilde{p} \equiv x_p - iy_p = \mp i \tilde{p}(\sigma) e^{\pm \Theta_\omega(t)}$, avec $\sigma = \pm(\omega/\Omega_0)$, \pm désignant les mouvements progrades (+) et rétrogrades (-). $\Theta_\omega(t)$ est l'argument de la composante spectrale du potentiel, $\omega = d\Theta_\omega(t)/dt > 0$. Pour les mouvements dus à la triaxialité, tous progrades, l'expression précédente avec un signe + est valable. Dans les deux cas, $\tilde{p}(\sigma) = \tilde{m}(\sigma)/(1 + \sigma)$. Les amplitudes $\tilde{m}(\sigma)$ sont obtenues à partir d'équations de moments de force très simplifiées. Pour de plus amples détails, voir Mathews et Bretagnon (2003).

4.4. DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES D'ORIENTATION DE LA TERRE

4.4.1. Introduction

La connaissance de la non-uniformité de la rotation de la Terre permet d'appréhender les phénomènes qui en sont la cause, essentiellement les phénomènes géophysiques externes (mouvements atmosphériques, océaniques, glaciaires ...) et internes (interaction entre les noyaux solide et fluide de la Terre et le manteau). De plus les activités dans les domaines de la navigation, l'astronomie et la géodésie spatiale exigent la connaissance précise des mouvements d'un système de référence terrestre lié à la Terre, et réalisé par le repère de référence terrestre international (ITRF, International Terrestrial Reference Frame ; Altamimi et al., 2002) par rapport à un système de référence non-tournant réalisé par le repère de référence céleste international (International Celestial Reference Frame, ICRF ; Ma et al., 1998). Ainsi, pour la navigation spatiale, on a besoin de connaître l'orientation de la Terre par rapport à un repère céleste et une erreur dans l'orientation terrestre se propage sur la position calculée du satellite.

La rotation de la Terre comprend différentes composantes appelées *paramètres d'orientation de la Terre* (EOP, Earth Orientation Parameters) qui permettent de décrire la rotation de l'ITRF par rapport à l'ICRF.

4.4.2. Description des paramètres d'orientation de la Terre

Les EOP comprennent le mouvement de rotation de la Terre autour de son axe (représenté par le Temps universel UT1 ou la vitesse de rotation), le mouvement de l'axe par rapport à l'axe de figure (le mouvement du pôle ou polhodie) et la précession-nutation donnée par un modèle conventionnel. On se reportera au chapitre 3.6 pour les nouvelles définitions et procédures issues des résolutions adoptées à la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI en 2000 et qui concernent en particulier l'adoption d'un nouveau modèle de nutation (IAU2000), une nouvelle définition du pôle céleste, la définition du CIP ainsi que l'adoption d'une nouvelle transformation entre les systèmes céleste et terrestre définissant UT1 comme étant directement proportionnel à l'angle de rotation de la Terre.

Les variations atmosphériques jouent un rôle important dans les variations du mouvement du pôle et de la rotation de la Terre proprement dite. Le moment angulaire atmosphérique calculé à partir d'un modèle de circulation comprenant notamment des données globales de température et pression sur plusieurs niveaux d'altitude est composé d'un terme dit *de pression*, relatif à des variations de masse et exprimé sous forme de variations du tenseur d'inertie ainsi que d'un terme dit *de vent*, lié aux mouvements des masses atmosphériques et s'exprimant sous la forme de moment cinétique relatif (Barnes et al, 1983). Les termes de pression affectent plus particulièrement le mouvement du pôle alors que les termes de vent ont un effet sur la rotation de la Terre proprement dite comme l'excès de la durée du jour sur la durée du jour moyen (86400 secondes).

4.4.2.1. *Mouvement du pôle ou polhodie*

Les coordonnées du CIP par rapport au pôle international de référence (International Reference Pole, IRP) sont définies dans un système d'axes contenu dans le plan tangent au pôle dont l'origine est l'IRP (figure 4.4). Ces axes O_x et O_y sont dirigés respectivement vers le méridien de référence, l'International Reference Meridian (IRM), proche du méridien de Greenwich et perpendiculairement vers l'ouest. Le CIP diffère du pôle instantané de rotation par des termes quasi-diurnes dont l'amplitude est inférieure à $0.01''$ notamment dus aux marées océaniques. Le mouvement de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la croûte comporte trois composantes majeures : une oscillation libre de période d'environ 435 jours (oscillation de Chandler, ou Chandler wobble), une oscillation annuelle forcée par le déplacement saisonnier des masses atmosphériques et océaniques ainsi qu'une dérive séculaire décrite par le pôle moyen.

Le terme de Chandler

C'est un terme libre de période environ 14 mois, réponse résonnante de la Terre au couplage équatorial. L'amplitude atteint $0.15''$ (4.5 m sur la Terre). L'amortissement de cette résonance peut être calculé empiriquement par l'introduction du facteur de qualité Q qui dépend des paramètres rhéologiques de la Terre. L'amortissement du terme de Chandler fournit des informations sur la dissipation à long terme dans la Terre. L'origine de l'excitation du terme de Chandler est restée mal connue pendant très longtemps. On l'a attribuée à divers phénomènes géophysiques comme les excitations atmosphériques, les variations des masses des réserves hydrologiques, les tremblements de terre ou les couplages électromagnétique, topographique ou gravitationnel entre le noyau liquide et le manteau (Eubanks, 1985). On sait maintenant qu'elle est due à une combinaison de phénomènes atmosphériques et océaniques. Gross (2000) a montré en particulier que les variations de pression atmosphérique dans les fonds des océans et la pression atmosphérique sur les continents expliquaient, respectivement, les deux tiers et un tiers du mouvement total.

Les variations saisonnières

Les variations du moment d'inertie liées aux mouvements des masses atmosphériques sont principalement responsables des variations saisonnières, essentiellement annuelles et semi-annuelles. Ces variations saisonnières sont stables avec une amplitude de l'ordre de $0.1''$ (3m sur la Terre). Cependant les excitations atmosphérique et océanique n'expliquent pas complètement les variations du mouvement du pôle. L'introduction de données relatives à l'excitation océanique nouvellement disponibles, à partir notamment des analyses des données du satellite altimétrique Topex-Poseidon, permet d'améliorer la compréhension des causes de ces variations. Il existe également dans le mouvement du pôle des termes à plus courtes périodes, notamment les termes diurnes et subdiurnes que l'on attribue aux variations océaniques.

Mouvement séculaire

L'étude des variations à long terme du mouvement du pôle montre l'existence d'un terme séculaire d'environ 4 mas par an (12 cm par an sur la Terre) dans la direction 70.7° ouest. Ce terme n'a pu être déterminé avec précision que grâce à l'accumulation de données sur le mouvement

du pôle, notamment depuis la contribution des données spatiales depuis plusieurs décades ainsi que par l'utilisation de modèles précis de mouvements locaux des stations d'observation dus aux plaques tectoniques. Ces variations séculaires qui apparaissent dans le mouvement du pôle sont généralement attribuées aux effets du rebond postglaciaire, réponse lente et anélastique de la Terre à la fonte des glaces des calottes polaires depuis le dernier âge glaciaire il y a environ 10 000 ans. Ce phénomène est responsable des variations du terme zonal d'ordre deux, noté J_2 , ainsi que celles d'autres termes du modèle de champ de gravité de la Terre observées notamment par télémétrie laser du satellite Lageos. Les échelles de temps concernées par le rebond postglaciaire sont si grandes, plusieurs milliers d'années, que le mouvement séculaire du pôle apparaît comme un terme linéaire. L'étude du rebond postglaciaire est de grande importance pour l'analyse de la variation du niveau de la mer provenant du réchauffement global. Les mouvements verticaux de l'ordre de quelques millimètres par an sont comparables aux effets provenant de l'expansion thermique et de ceux résultant de la fonte des glaces. Les données récentes du mouvement du pôle sont sensibles aux redistributions de masse et donnent de fortes contraintes sur les modèles de variation du niveau de la mer. Des études récentes montrent que les fontes de glaciers et les bassins hydrologiques pourraient être également responsables de 20% de l'excitation du mouvement observé du pôle séculaire. Plusieurs auteurs dans le passé ont mis en évidence l'existence d'un terme décennal de période d'environ 20 à 30 ans dite oscillation de Markowitz. L'existence de ce terme que certains ont attribué à des erreurs systématiques dans la position de stations d'observation est cependant controversée.

4.4.2.2. *UT1*

$UT1$ est l'angle de rotation autour du pôle. Il est défini par une relation conventionnelle (IERS, 2003) et donne accès à la direction de l'IRM dans l'ICRS. Il est en fait exprimé comme l'une des différences $UT1-TAI$ ou $UT1-UTC$. $DUT1$ est la différence $UT1-UTC$ exprimée avec une précision de ± 0.1 s ; elle est diffusée avec les signaux horaires et annoncée par l'IERS. La différence entre la longueur du jour relative à la rotation de la Terre, LOD , et les 86 400 s du TAI, est appelée l'excès de la durée du jour ΔLOD . Sa relation avec la vitesse moyenne de rotation de la Terre est :

$$\Omega = 72\,921\,151.467\,064 - 0.843\,994\,803 \Delta LOD,$$

où Ω est en picoradians/s et ΔLOD en millisecondes (ms).

$UT1$ et par suite ΔLOD et Ω , ont des variations dues aux marées zonales dont le modèle comprend 300 termes périodiques avec des périodes comprises entre 5.6 jours et 18.6 ans (IERS, 2003). $UT1R$, $\Delta LODR$, and ΩR sont les valeurs de $UT1$, ΔLOD , et Ω corrigées des termes à courtes périodes inférieures à 35 jours. L'amplitude de $UT1R-UT1$ est inférieure à 2.5 ms. La différence $\Delta LODR - \Delta LOD$ est inférieure à 1 ms. Les données fournies par l'IERS n'incluent pas les effets des variations semi-diurnes et diurnes données également par un modèle (IERS, 2003). La différence $UT1-UTC$ n'est théoriquement pas affectée par les nouvelles résolutions de l'UAI.

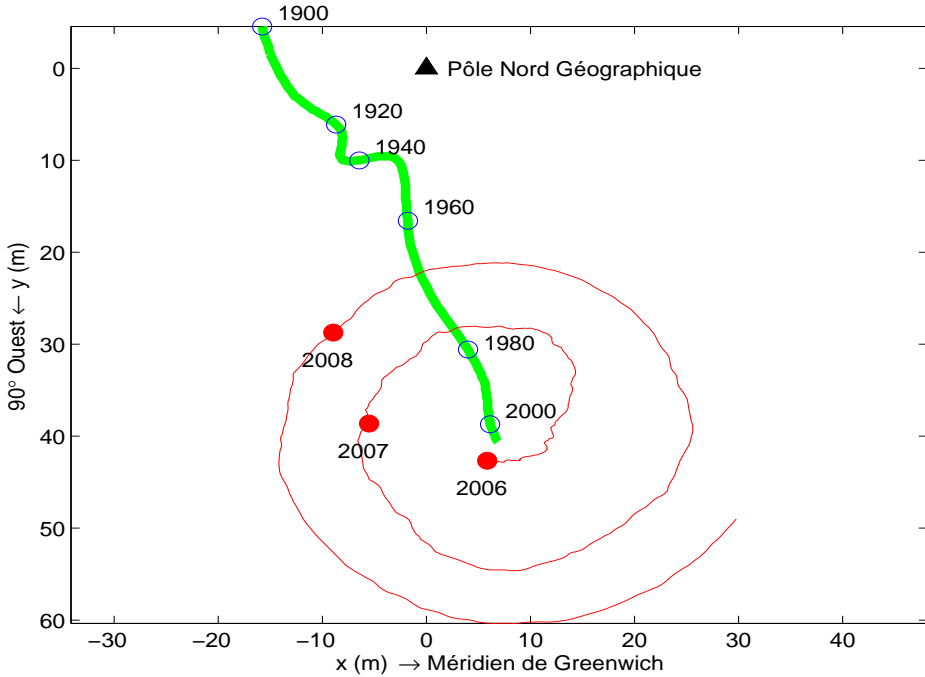


Fig. 4.4. Polhodie 2001-2004 et pôle moyen depuis 1900. L'unité est la seconde de degré. L'axe des x est dirigé positivement vers le méridien de Greenwich, l'axe des y est dirigé positivement vers la direction 90° ouest.

4.4.2.3. Excès ΔLOD de la durée du jour sur les 86400s

En l'état actuel de nos connaissances et en dehors des effets de marée dus aux actions de la Lune et du Soleil, les variations de la durée du jour peuvent être séparées en plusieurs composantes :

1) Le ralentissement séculaire. L'action gravitationnelle de la Lune et du Soleil produit le phénomène de marée dont le frottement entraîne une dissipation d'énergie. Cela donne lieu à un ralentissement séculaire de la rotation terrestre. En se basant sur des mesures anciennes et modernes, on peut estimer que l'accroissement régulier dans la longueur du jour qui en résulte est de l'ordre de 2 ms par siècle. Si l'on considère que ce ralentissement existe depuis les temps géologiques, on peut estimer que la rotation terrestre se faisait en 22 heures, il y a cent millions d'années. Il faut ajouter à ce terme séculaire des variations périodiques produites par les marées dues aux couples gravitationnels de la Lune et du Soleil. Les principales périodes sont de 18.6 ans, 1 an, 6 mois, 27.56 et 13.66 jours avec une amplitude globale de l'ordre d'une milliseconde dans la durée du jour.

2) Des variations irrégulières décennales dont l'amplitude est de l'ordre de 3 à 4 millisecondes oscillant sur des périodes comprises entre 20 et 60 ans. Leurs origines sont d'ordre géophysique

interne et sont généralement attribuées au couplage entre le noyau et le manteau terrestres et partiellement aux phénomènes océano-atmosphériques à grande échelle, de type El Nino. La vitesse de rotation de la Terre est connue avec une bonne précision depuis les années 1970. Auparavant on disposait de mesures issues des observations d'astrométrie optique classique pour lesquelles la précision était un peu moins bonne. Ce sont les phénomènes d'occultations d'étoiles par la Lune qui fournissent les mesures antérieures. Les éclipses anciennes peuvent également apporter des informations sur les variations à long terme de la vitesse de rotation. Cependant la précision qu'elles donnent est médiocre.

3) Des variations saisonnières, principalement annuelle et semi-annuelle et également inter-annuelles dues essentiellement à la circulation atmosphérique. Si l'on considère la Terre solide et l'atmosphère comme un tout, l'une des lois fondamentales de la mécanique d'un système isolé postule la conservation du moment cinétique global de l'ensemble de la Terre solide et de son atmosphère. Une variation du moment cinétique de l'atmosphère entraînera donc une variation opposée du moment cinétique de la Terre. Un vent d'ouest violent aura pour conséquence un ralentissement de la Terre, faible mais détectable par les techniques actuelles. À ces fluctuations il faut aussi ajouter la contribution de la circulation océanique et celle du cycle hydrologique sur les continents (pluies, neiges), mais dont la participation au bilan global, quoique mesurable est négligeable (moins de 5%).

4) Des variations irrégulières ayant principalement pour origine des phénomènes rapides atmosphériques et océaniques. En outre, les forces externes appliquées au système climatique dans la haute atmosphère, principalement dues au vent solaire et aux autres forces électromagnétiques, ont dans ce contexte une faible influence. Elles peuvent de ce fait être négligées. Ceci laisse alors libre place à l'important problème géophysique constitué par la détermination et l'étude des effets internes. La figure 4.5 représente le filtrage de l'excès de la durée du jour sous forme de termes décennaux, saisonniers et irréguliers.

4.4.2.4. Pôle céleste et écarts au pôle céleste ($\delta\Delta\psi_{2000}$, $\delta\Delta\epsilon_{2000}$)

La précession-nutation se réfère au CIP, qui ne contient par définition, que des termes dont la période dans le repère céleste est supérieure à 2 jours. Elle comporte une partie séculaire et des termes périodiques (principalement de période 18.6 ans, 1 an, 0.5 an et 14 jours). Les oscillations résiduelles sont attribuées à la nutation libre de la Terre. L'IERS ne fournit pas directement les coefficients de la précession-nutation mais les écarts δX et δY par rapport au modèle de référence IAU2000, selon le nouveau formalisme (*cf.* 3.6). Les variations observées reflètent la différence entre le mouvement céleste réel du pôle et celui prédit par les modèles de précession et de nutation conventionnels. Les angles en longitude et en obliquité déterminés classiquement ($\delta\Delta\psi_{2000}$, $\delta\Delta\epsilon_{2000}$), et référés au nouveau modèle peuvent être aisément calculés. Ces valeurs de δX et δY sont maintenant inférieures à 1 mas et reflètent principalement les effets de la FCN que l'on peut difficilement modéliser. Elles ne peuvent donc pas être incorporées au nouveau modèle de nutation IAU2000 (figure 4.6).

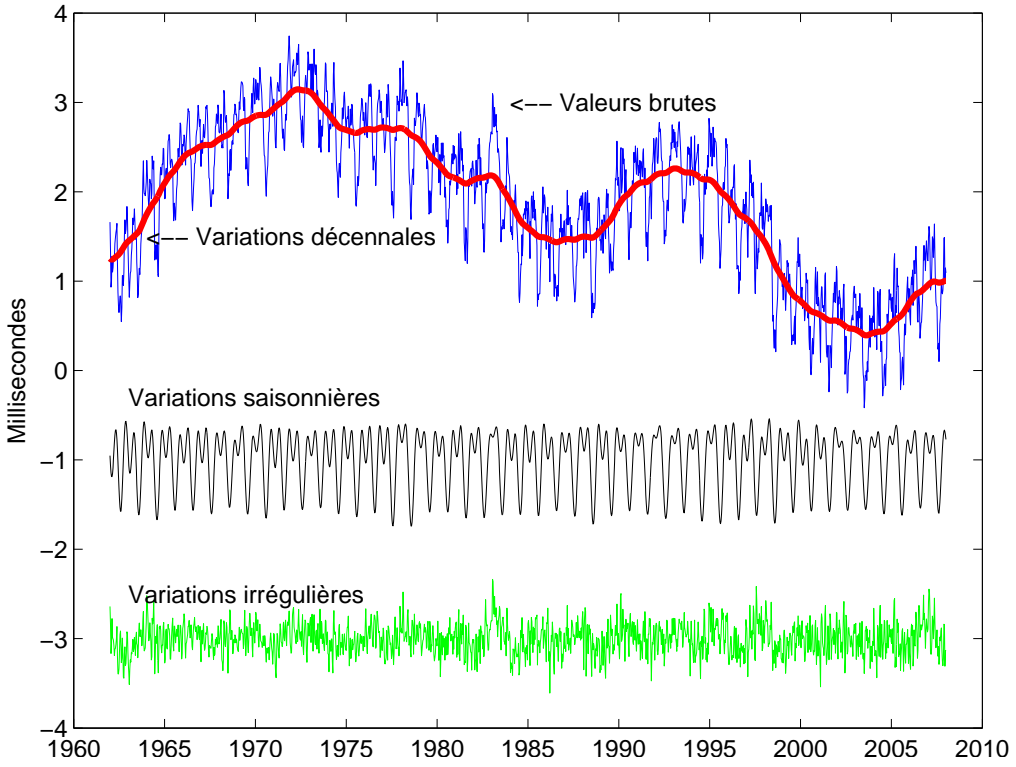


Fig. 4.5. Filtrage de ΔLOD , variations décennales, saisonnières et irrégulières. L'unité est la milliseconde.

4.4.2.5. Variations du temps universel, relations avec les échelles de temps atomique TAI et UTC

L'échelle de temps TAI, réalisée par des phénomènes physiques et calculée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) (*cf.* chapitre 2) est dissociée du Temps universel déterminé par la rotation de la Terre. Son intervalle unitaire est exactement d'une seconde SI rapportée au niveau moyen des mers. L'origine du TAI est telle que la différence $UT1 - TAI$ est approximativement égale à zéro le 1^{er} janvier 1958. Les instabilités de TAI sont environ 10^6 fois plus faibles que celles de $UT1$. UTC a été défini par la recommandation 460-4 de l'International Radio Consultative Committee (1986). Cependant TAI et le temps universel $UT1$ s'écartent au fil des années à cause du choix de la seconde du TAI, un peu trop courte par rapport à la seconde définie astronomiquement et aussi à cause des fantaisies de la rotation de la Terre. À l'allongement d'environ 2 millisecondes par siècle dû aux marées s'ajoutent des variations saisonnières ou imprévisibles se mesurant aussi en millisecondes. Pour diverses applications, notamment pour la navigation spatiale, on a voulu garder une relation entre le temps de la physique et la rotation de la Terre dans le repère céleste. On a donc défini une nouvelle échelle de temps, le *temps universel coordonné* (UTC, Universal Time Coordinated) calqué sur le TAI mais comprenant une correction de quelques secondes qui l'astreint à rester proche de $UT1$ et tel que $|UT1 - UTC| < 0,9$ s. Lorsque la différence risque

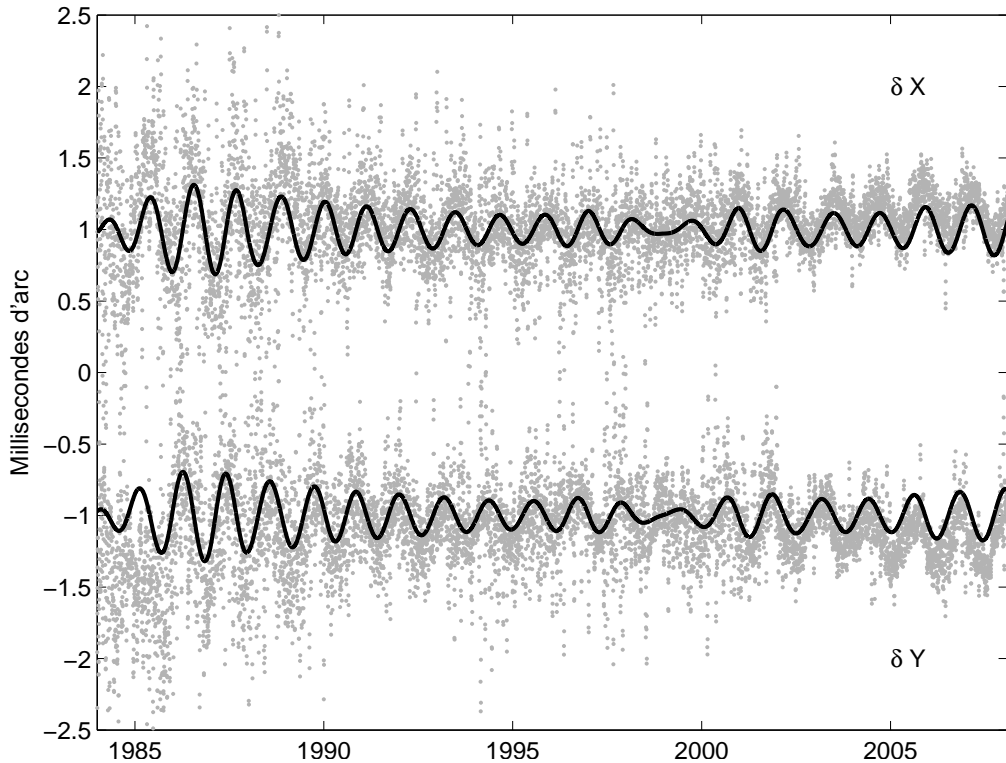


Fig. 4.6. Écarts δX et δY du pôle céleste. La courbe en trait continu représente la FCN. L'unité est le mas.

de dépasser 1 seconde on introduit dans UTC une seconde intercalaire appelée de manière impropre *saut de seconde* (leap second). Selon cette dernière condition, la décision, ou la non-décision, d'introduire un saut de seconde dans UTC relève de l'IERS et est annoncée dans le Bulletin C six mois à l'avance. Selon les recommandations du CCIR, les dates d'application préférentielles sont un 31 décembre ou un 30 juin de l'année. L'application est mise en œuvre par les autorités nationales responsables de la diffusion du temps. L'organisme français concerné est le Bureau national de métrologie (BNM/SYRTE, sis à l'observatoire de Paris). La dernière seconde intercalaire fut introduite le 1^{er} janvier 2006 à 0h UTC, soit à 1 heure temps légal en France. La prochaine se produira le 1^{er} janvier 2009 selon les prédictions actuelles, la Terre ayant accéléré depuis quelques années.

Cette définition de UTC comprenant des secondes intercalaires intermittentes s'est révélée satisfaisante pour toutes les communautés scientifiques à l'exception de celles travaillant dans des domaines liés aux télécommunications et à la navigation spatiale (notamment par GPS) qui ont proposé récemment une révision de la définition de UTC afin de disposer d'une échelle de temps continue exempte de sauts de seconde. Depuis 2001 des discussions ont lieu au niveau international. Elles n'ont cependant pas débouché sur un accord. On incite plutôt les communautés qui ont besoin d'une échelle de temps continue à utiliser TAI ou directement un temps lié à l'échelle GPS, voire

l'échelle de temps produite par le futur système Galileo.

4.4.3. Les techniques d'observation

Deux types de méthodes sont actuellement utilisées pour déterminer les EOP : les méthodes géométriques et les méthodes dynamiques.

4.4.3.1. Les méthodes géométriques

On observe les directions d'étoiles par astrométrie optique ou de radiosources extragalactiques par interférométrie. L'astronomie optique comporte de sérieuses limitations du fait de la réfraction atmosphérique qui est difficilement modélisable. Cette technique observationnelle n'est actuellement plus utilisée pour les études concernant la rotation terrestre et les détermination de repères de référence. La technique VLBI consiste à observer simultanément en ondes radio une même source extragalactique (quasar ou noyau de galaxie) à l'aide de deux radiotélescopes distants de plusieurs milliers de kilomètres. Les signaux sont enregistrés indépendamment sur des bandes magnétiques et datés de manière très précise par des horloges atomiques ou des masers à hydrogène. Ils sont ensuite corrélés dans un centre spécialisé appelé corrélateur. On peut par la suite en déduire très précisément le décalage entre les heures d'arrivée du signal aux deux radiotélescopes. L'analyse de ce retard géométrique après corrections de divers effets atmosphériques (troposphère, ionosphère) donne accès aux coordonnées des radiosources dans un repère céleste, aux positions des radiotélescopes dans un repère terrestre, mais aussi aux paramètres d'orientation de la Terre. Pour déterminer ces paramètres il faut mener des programmes d'observation s'étendant sur plusieurs heures.

4.4.3.2. Les méthodes dynamiques

Ces méthodes reposent sur l'observation de la Lune par télémétrie laser (LLR) ou sur celle de satellites artificiels de la Terre par diverses techniques. Le repère de référence céleste est fourni par l'éphéméride du satellite. À partir des observations, on peut déterminer les termes donnant l'orientation terrestre ainsi que les positions de stations dans un repère géocentrique tournant lié à la Terre. Le LLR s'est développé depuis 1971. Ces mesures représentent le temps aller-retour d'une impulsion laser réfléchi sur les cataphotes déposés à la surface lunaire par les missions soviétiques et américaines dans les années 1960–1970. La technique étant difficile à mettre en œuvre, il n'y a actuellement que deux stations au monde en fonctionnement opérationnel : celle de l'université du Texas et celle du CERGA de l'observatoire de la Côte d'Azur près de Grasse. La télémétrie laser des satellites repose sur le même principe général, mais dans ce cas les cibles sont des satellites conçus spécialement pour cette technique. Elle s'est essentiellement développée après le lancement du satellite français Starlette en 1975 et celui du satellite américain Lageos en 1976. Ces satellites et leurs successeurs ont des caractéristiques qui leur permettent d'être bien adaptés pour les études liées à la géodynamique. La précision atteinte sur la mesure de distance entre le satellite et la

station est actuellement de quelques millimètres. Les stations d'observation sont bien réparties sur le globe avec toutefois un surnombre en Europe et dans l'Amérique du Nord.

Le système GPS conçu par l'armée américaine pour ses besoins propres de positionnement et de navigation, remplace le système de navigation Transit, reposant sur l'effet Doppler et opérationnel jusque dans les années 1980. Actuellement ce système consiste en une constellation d'une vingtaine de satellites d'orbites quasi-circulaires gravitant à 26500 km, de période de révolution de 12h et se trouvant dans six plans inclinés à 55° par rapport à l'équateur. La communauté scientifique civile utilise largement ce système par l'intermédiaire de l'IGS (International GPS service) créé en 1994. Les principales productions de ce service sont la détermination d'orbites précises pour les besoins de positionnement, le calcul de coordonnées de stations, les paramètres d'orientation de la Terre et les paramètres liés à l'état de la troposphère et de l'ionosphère.

Le système radioélectrique DORIS, développé par le CNES, est embarqué sur des satellites bas. Il a volé sur les satellites de télédétection Spot et sur le satellite océanographique Topex- Poseidon. Depuis 2001 il est embarqué sur les satellites Envisat et Jason. À la différence des autres systèmes, le récepteur DORIS se trouve embarqué dans le satellite alors que les balises émettrices sont au sol. Ce réseau de balises est parfaitement distribué sur le globe terrestre, ce qui rend ce système bien adapté à la détermination du système de référence terrestre.

4.4.4. Calcul des paramètres d'orientation de la Terre

L'ensemble des EOP permet d'effectuer la transformation entre l'ITRF et l'ICRF. Ces paramètres sont donnés, par l'IERS, sous forme de séries chronologiques régulières. La série de référence est la combinaison de séries individuelles dérivées des analyses des observations obtenues par les diverses techniques. La procédure de combinaison est fondée sur le traitement statistique de séries chronologiques, l'objectif étant d'obtenir la meilleure série à toutes les échelles de temps. Les processus incluent notamment lissage de données, interpolation, analyse spectrale, modélisation, prédiction et utilisent de nouvelles méthodes comme les analyses en ondelettes ou les réseaux de neurones (Bougeard et al, 2000 ; Gambis, 2002 ; Vondrák et Cepek, 2000 ; Vondrák et Gambis, 2000).

L'exactitude actuelle est de l'ordre de 200 mas pour les composants du pôle et 20 microsecondes de temps (μs) pour UT1, ce qui correspond à moins d'un centimètre sur la Terre. Cependant l'exactitude n'égale pas la précision interne des solutions individuelles qui sont respectivement de 100 mas et 5 μs , à cause des erreurs de propagation dans la réalisation des deux repères de référence céleste et terrestre. On trouvera plus de détails sur les combinaisons et l'analyse des EOP dans Gambis (2004). Des méthodes rigoureuses, reposant sur une détermination globale simultanée des repères de référence et des paramètres de la rotation de la Terre, sont actuellement en développement (Anderson, 1995 ; Yaya, 2002 ; Altamimi et al., 2004). Elles permettront une meilleure compréhension de ce problème.

Remarque sur les termes précision et exactitude

Selon les définitions standard largement admises par la communauté scientifique, le terme *exactitude* a un sens spécifique caractérisant la stabilité, l'uniformité ou la reproductibilité d'une série

de données, alors que la *précision*, qui doit être distinguée, reflète une évaluation externe relative à la vérité que l'on ne peut pas atteindre et qui relate la qualité du résultat. On peut seulement estimer l'inexactitude, défaut d'exactitude.

4.5. BIBLIOGRAPHIE

- Altamimi, Z., Boucher, C., Gambis, D. : 2004, Long-term Stability of the Terrestrial Reference Frame, soumis à *Adv. Space Research*.
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. : 2002, ITRF2000 : A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, *J. Geophys. Res.* **107 (B10)**, 2214, doi :10.1029/2001JB000561.
- Anderson, P.H. : 1995, High-precision station positioning and satellite orbit determination, *Ph.D. Thesis, NDRE/publication 95/01094*, FFI/ E, Box 25, N-2007, Kjeller, Norway.
- Barnes, R.T.H., Hide, R., et al. : 1983, Atmospheric angular momentum fluctuations, length-of-day changes and polar motion dans *Proc. R. Soc. Lond.* **387**, 31.
- Bevington, P.R. : 1969, Data reduction and error analysis for the physical sciences, *McGraw-Hill Book Company*, New York, USA.
- Bougeard, M., Gambis, D., Ray, R. : 2000, Algorithms for box constrained M-estimation : fitting large data sets with applications to Earth Orientation Parameters series, *Physics and Chemistry of the Earth* **25(9-11)**, 679.
- Bretagnon, P., Fienga, A., Simon, J.-L. : 2003, Expressions consistent with the IAU 2000A model, *Astron. Astrophys.* **400**, 785.
- Bretagnon, P., Francou, G. : 1988, Planetary theories in rectangular and spherical variables. VSOP87 solutions, *Astron. Astrophys.* **202**, 309.
- Bretagnon, P., Francou, G., et al. : 1998, SMART97 : a new solution for the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **329**, 329.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 1997, Theory of the rotation of the rigid Earth, *Astron. Astrophys.* **319**, 305.
- Bretagnon, P., Rocher, P., Simon, J.-L. : 2000, Nonrigid Earth Rotation Solution, in : *Towards Models and Constants for Sub-microarcsecond Astrometry.*, IAU Colloquium 180, K. Johnson, D. McCarthy, B. Luzum, G. Kaplan, eds, Washington, USA, 230.
- Brumberg, V.A., Bretagnon, P., Francou, G. : 1992, in *Systèmes de référence spatio-temporels. Journées 1991*, N. Capitaine, ed., observatoire de Paris
- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2003, Expressions for IAU 2000 precession quantities *Astron. Astrophys.* **412**, 467.

- Capitaine, N., Wallace, P.T., Chapront, J. : 2004, Comparison between high precision precession models for the ecliptic and the equator, *Astron. Astrophys.* **421**, 365.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1983, The lunar ephemeris ELP2000, *Astron. Astrophys.* **124**, 50.
- Chapront-Touzé, M., Chapront, J. : 1988, ELP2000-85 : a semi-analytical lunar ephemeris adequate for historical times, *Astron. Astrophys.* **190**, 342.
- Defraigne, P., Dehant, V., Paquet, P. : 1995, Link between the retrograde-prograde nutations and nutations in obliquity and longitude, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **62**, 363.
- Dziewonski, A.D., Anderson, D.L. : 1981, Preliminary Reference Earth Model., *Phys. Earth planet. Inter.* **25**, 297.
- Eubanks, T.M. : 1993, Variations in Earth Orientation, in *Contributions of Space Techniques to geodynamics*, Smith, D.E., Turcotte, D.L., eds, Wahshington D.C., 1.
- Fukushima, T. : 2003, A New precession formula, *Astron. J.* **126**, 1.
- Gambis, D. : 2002, Allan Variance analysis applied to Earth Orientation Analysis, *Adv. Space Research* **30(2)**, 207.
- Gambis, D. : 2004, Monitoring Earth Orientation at the IERS using space-geodetic observations., *J. of Geodesy*, 78.
- Gross, 2000, The excitation of the chandler wobble. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 2329.
- Gwinn, C. R., Herring, T. A., Shapiro, I. I. : 1986, Geodesy by radiointerferometry : studies of the forced nutations of the Earth, 2. Interpretation, *J. Geophys. Res.* **91**, 4755.
- Hilton, J.L., Capitaine, N., Chapront, J., Ferrandiz, J.M., Fienga, A., Fukushima, T., Getino, J., Mathews, P., Simon, J.-L., Soffel, M., Vondrak, J., Wallace, P., Williams, J. : 2006, Report of the International Astronomic Union Division I Working Group on Precession and the Ecliptic, *Cel. Mech. Dyn. Astron.* **94**, 351.
- IERS : 2000, IERS Conventions 2000, <http://www.usno.mil/Conventions2000>, draft.
- IERS : 2003, IERS Conventions 2003, *IERS Technical Note 32*, McCarthy, D.D., Petit, G. eds., Frankfurt am Main : Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, ISBN 3-89888-884-3.
- Lambert, S., Capitaine, N. : 2004, Effects of zonal deformations and Earth's rotation rate variations on precession-nutation, *Astron. Astrophys.* **428**, 255.
- Lambert, S., Mathews, P.M. : 2006, Second-order torque on the tidal redistribution and the Earth's rotation, *Astron. Astrophys.* **453**, 363.
- Lieske, J.H., Lederle, T., et al. : 1977, Expressions for the precession quantities based upon the IAU (1976) system of astronomical constants, *Astron. Astrophys.* **58**, 1.
- Ma, C., Arias, E.F., et al. : 1998, The International Celestial Reference Frame as realized by Very Long Baseline Astrometry, *Astron. J.* **116**, 516.
- Mathews, P.M., Bretagnon, P. : 2003, Polar motions equivalent to high frequency nutations for a nonrigid Earth with anelastic mantle., *Astron. Astrophys.* **400**, 1113.
- Mathews, P.M., Buffett, B.A., et al. : 1991, Forced nutations of the Earth : Influence of inner core

- dynamics, 1. Theory, *J. Geophys. Res.* **96**, 8219.
- Mathews, P.M., Herring, T.A., Buffett, B.A. : 2002, Modeling of nutation and precession : new nutation series for nonrigid Earth and insights into the Earth's interior., *J. Geophys. Res.* **107** (B4), DOI :10.1029/2001JB000390.
- Roosbeek, F., Dehant, V. : 1998, RDAN97 : An analytical development of rigid Earth nutation series using the torque approach, *Celest. Mech. Dyn. Astron.* **70**, 215.
- Seidelmann, P.K. : 1982, 1980 IAU Theory of nutation : the final report of the IAU working group on nutation, *Celest. Mech.* **27**, 79.
- Simon, J.-L., Bretagnon, P., et al. : 1994, Numerical expressions for precession formulae and mean elements for the Moon and the planets, *Astron. Astrophys.* **282**, 663.
- Souchay, J., Folgueira, M. : 2000, The effect of zonal tides on the dynamical ellipticity of the Earth and its influence on the nutation, *Earth Moon Planets* **81**, 201.
- Souchay, J., Loysel, B., et al. : 1999, Corrections and new developments in rigid Earth nutation theory : III. Final tables REN-2000 including crossed-nutation and spin-orbit coupling effects., *Astron. Astrophys.* **318**, 639.
- Standish, E.M : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides DE405/LE405, JPL IOM **312.F**, 98.
- Standish, E.M., Williams, J.G., Newhall, XX. : 1981, Intégration numérique DE200/LE200, bande magnétique.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**.
- Vondrák, J., Cepek, A. : 2000, Combined smoothing method and its use in combining Earth orientation parameters measured by space techniques, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **147**, 347.
- Vondrák, J., Gambis, D. : 2000, Accuracy of Earth orientation parameters obtained by different techniques in different frequency windows, in : it Journées 1999 Systèmes de référence spatio-temporels and IX Lohrmann Colloquium, Soffel, M., Capitaine, N., eds, observatoire de Paris, 206.
- Wahr, J.M. : 1981, The forced nutations of an elliptical, rotating, elastic and oceanless Earth., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 705.
- Wahr, J.M. and Sasao, T. : 1981, A diurnal resonance in the ocean tide and in the Earth's load response due to the resonant free core nutation., *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **64**, 747.
- Wahr, J. and Bergen, Z. : 1986, The effects of mantle anelasticity on nutations, Earth tides, and tidal variations in the rotation rate, *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.* **87**, 633.
- Williams, J. G. : 1994, Contributions to the Earth's obliquity rate, precession and nutation, *Astron. J.* **108**, 7.
- Yaya, P. : 2002, Apport des combinaisons de techniques astométriques et géodésiques à l'estimation des paramètres d'orientation de la Terre, *PhD Thesis*, observatoire de Paris.

CHAPITRE 5

CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

J.-L. SIMON (5.1 – 5.3)¹, A. FIENGA & S. LAMBERT (5.4)

5.1. NOTIONS PRÉLIMINAIRES

5.1.1. Coordonnées cartésiennes et coordonnées polaires

Nous représenterons un point M de l'espace soit par ses coordonnées cartésiennes (x, y, z) dans un système d'axes (Ox, Oy, Oz) orthonormé direct, soit par ses coordonnées polaires (ψ, ϕ, r) dans le même système d'axes. Par définition :

$$\psi = (Ox, Om), \quad \phi = (Om, OM), \quad r = |OM|,$$

où m est la projection de M sur le plan (Ox, Oy) . Sauf mention spéciale, le sens positif pour ψ est le sens direct défini par l'axe Oz ; ϕ est compté positivement vers l'axe Oz . Les deux groupes de coordonnées sont liés par les relations :

$$\begin{aligned}x &= r \cos \psi \cos \phi, \\y &= r \sin \psi \cos \phi, \\z &= r \sin \phi.\end{aligned}\tag{5.1}$$

Pour r égal à 1, (x, y, z) sont les cosinus directeurs de la direction OM ; ψ et ϕ seront appelés les coordonnées polaires de la direction OM .

¹ Ces paragraphes sont largement inspirés du chapitre 4.5 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997), rédigé par M. Chapront-Touzé.

5.1.2. Transformation des coordonnées sous l'effet d'une rotation des axes

Toutes les transformations faisant passer d'un système d'axes à un autre, sans changement du centre O , se ramènent à des produits de trois rotations élémentaires $R_1(\theta_1)$, $R_2(\theta_2)$, $R_3(\theta_3)$ respectivement autour des axes Ox , Oy , Oz , θ_1 , θ_2 , θ_3 désignant les angles des rotations.

Sous l'effet d'une rotation élémentaire $R_i(\theta_i)$, le système d'axes (Ox, Oy, Oz) est transformé en (Ox', Oy', Oz') et les coordonnées (x', y', z') d'un point M dans le système d'axes (Ox', Oy', Oz') s'expriment en fonction de ses coordonnées (x, y, z) dans le système d'axes (Ox, Oy, Oz) par la relation matricielle :

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = R_i(\theta_i) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (5.2)$$

Pour $i = 1$ (rotation autour de l'axe Ox), les axes font entre eux les angles :

$$(Ox, Ox') = 0, \quad (Oy, Oy') = (Oz, Oz') = \theta_1,$$

et

$$R_1(\theta_1) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_1 & \sin \theta_1 \\ 0 & -\sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

Pour $i = 2$ (rotation autour de l'axe Oy), les axes font entre eux les angles :

$$(Oy, Oy') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oz, Oz') = \theta_2,$$

et

$$R_2(\theta_2) = \begin{pmatrix} \cos \theta_2 & 0 & -\sin \theta_2 \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta_2 & 0 & \cos \theta_2 \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

Pour $i = 3$ (rotation autour de l'axe Oz), les axes font entre eux les angles :

$$(Oz, Oz') = 0, \quad (Ox, Ox') = (Oy, Oy') = \theta_3,$$

et

$$R_3(\theta_3) = \begin{pmatrix} \cos \theta_3 & \sin \theta_3 & 0 \\ -\sin \theta_3 & \cos \theta_3 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.5)$$

5.2. COORDONNÉES USUELLES

5.2.1. Coordonnées liées à un repère de référence céleste

5.2.1.1 Définitions

On se reportera aux paragraphes 3.2.1 et 3.3.2 pour avoir de plus amples informations sur certains des concepts dont nous allons rappeler les définitions.

Sphère céleste : Sphère de rayon arbitraire dont le centre est celui du système de référence considéré, par exemple le barycentre du système solaire pour un BRS (Barycentric Reference System), le centre de masse de la Terre pour un GRS (Geocentric Reference System), etc. On considère sur la sphère céleste des grands cercles particuliers appelés écliptiques ou équateurs.

Équateur céleste vrai : Grand cercle de la sphère céleste dont le plan est perpendiculaire à la direction du pôle céleste des éphémérides (CEP, Celestial Ephemeris Pole). On l'appelle également équateur vrai de la date.

Équateur moyen de la date : Se déduit de l'équateur vrai de la date par une transformation donnée par la théorie de la nutation (cf. 4.3). On passe de l'équateur moyen d'une date à l'équateur moyen d'une autre date par une transformation fournie par la théorie de la précession (cf. 4.2). Le plan de l'équateur moyen d'une date donnée constitue un plan fixe qui peut être utilisé comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS (cf. 3.3.2).

Écliptique moyen de la date : Plan perpendiculaire au moment cinétique moyen du barycentre Terre-Lune dans son mouvement héliocentrique. Il existe deux sortes d'écliptiques moyens de la date (cf. 3.3.2), l'*écliptique moyen inertiel de la date* et l'*écliptique moyen rotationnel de la date*.

Les plans des écliptiques moyens, inertiel ou rotationnel, d'une date donnée sont des plans fixes qui peuvent être utilisés comme plan de référence d'un système inertiel ou d'un BRS.

Obliquité de l'écliptique : C'est l'inclinaison de l'écliptique moyen, soit inertiel soit rotationnel, sur l'équateur moyen à une date donnée.

Équinoxe dynamique vrai de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur vrai de la date.

Équinoxe dynamique moyen de la date : C'est le nœud ascendant de l'écliptique moyen de la date sur l'équateur moyen de la date.

Dans chaque cas (moyen ou vrai), il existe deux équinoxes dynamiques, l'un *inertiel*, l'autre *rotationnel*, selon l'écliptique moyen, inertiel ou rotationnel, utilisé (cf. 3.3.2).

5.2.1.2. Coordonnées écliptiques et équatoriales

On a vu en 3.3.2 que les repères de référence célestes sont caractérisés par un plan de référence et une direction origine dans ce plan (en général l'équinoxe); leur est aussi associé un système de constantes fondamentales (masses planétaires, obliquité de l'écliptique à une date de référence,

précession-nutation). À ces repères sont rattachées des coordonnées. Ces coordonnées sont dites *équatoriales* quand le plan de référence est l'équateur et *écliptiques* quand le plan de référence est l'écliptique. On distingue les coordonnées *équatoriales vraies* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date), *équatoriales moyennes de la date* (rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date), *écliptiques vraies* (rapportées à l'équinoxe vrai et à l'écliptique moyen de la date), *écliptiques moyennes de la date* (rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens de la date). On passe de telles coordonnées à des coordonnées moyennes de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la précession, puis à des coordonnées vraies de la date par une transformation faisant intervenir des quantités issues de la théorie de la nutation (*cf.* 4.2 et 4.3).

En coordonnées polaires, les coordonnées équatoriales sont l'ascension droite, la déclinaison et la distance ; les coordonnées écliptiques sont la longitude, la latitude et la distance. La distance r est parfois remplacée par la parallaxe π , définie par :

$$\sin \pi = \frac{a_T}{r}, \quad (5.6)$$

où a_T est le rayon équatorial terrestre. La distance et la parallaxe ne dépendent pas du plan et de l'équinoxe de référence.

5.2.1.3. Coordonnées astronomiques

Un point à la surface de la Terre est rattaché à un repère céleste géocentrique par sa *longitude astronomique* L et sa *latitude astronomique* ϕ , coordonnées polaires de la direction OZ parallèle à la verticale du lieu, rapportées à l'équateur vrai de la date du repère céleste et à une origine g de ce plan, (Fig. 5.1). Ici, la verticale d'un lieu, ou direction du *zénith*, est la direction opposée à la pesanteur en ce lieu. En première approximation, g est l'intersection de l'équateur vrai de la date et du *méridien céleste de Greenwich*, en désignant par méridien (céleste) d'un lieu le demi-grand cercle de la sphère céleste géocentrique limité par la direction OP du pôle céleste vrai, la direction opposée OP' et la direction parallèle à la verticale du lieu. La direction Og a pour ascension droite vraie le temps sidéral vrai de Greenwich GST (Greenwich Sidereal Time). L'Union Astronomique Internationale recommande de compter les longitudes de 0° à 180° est ou ouest. Dans cet ouvrage, les longitudes sont comptées de -180° à 180° positivement vers l'ouest.

La longitude et la latitude astronomiques d'un point à la surface de la Terre, ainsi définies, subissent au cours du temps des variations faibles dues au mouvement du pôle (*cf.* 4.4) et à des mouvements de l'écorce terrestre.

5.2.1.4. Coordonnées horaires et coordonnées horizontales

On définit également deux autres types de coordonnées pour un point à la surface de la Terre rapportées à un repère céleste.

- Les *coordonnées horaires*, angle horaire H et déclinaison δ , d'une direction OM pour un lieu donné, sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan équatorial vrai de la date et à la direction origine O ζ , intersection de ce plan et du méridien du lieu (Fig. 5.2). L'angle horaire est compté positivement dans le sens rétrograde.

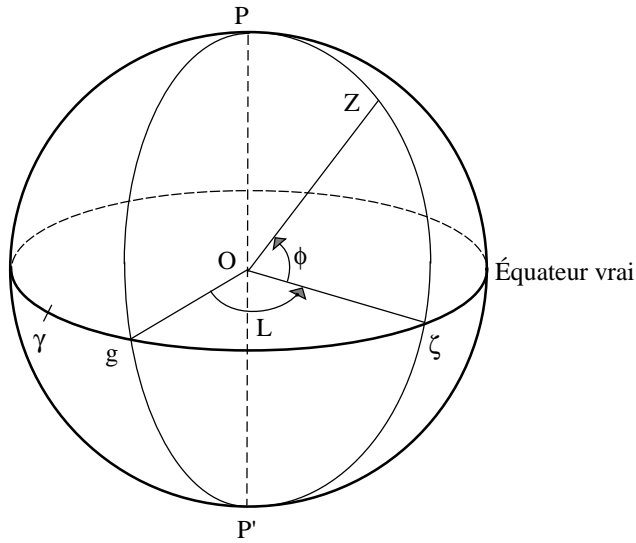


Fig. 5.1. Coordonnées astronomiques d'un lieu.

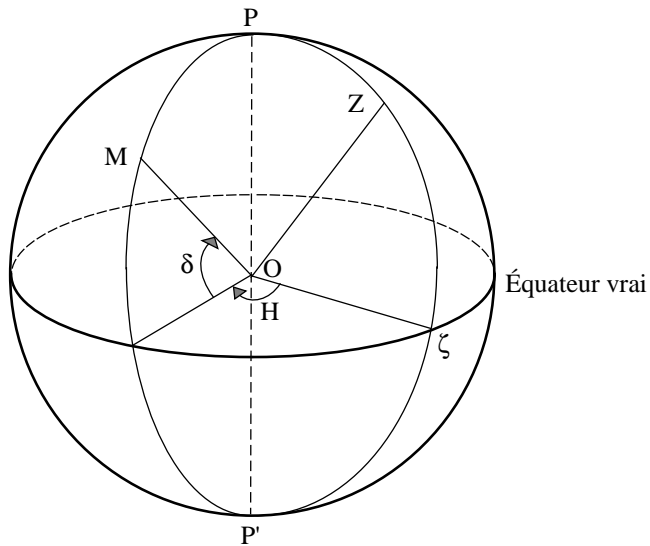


Fig. 5.2. Coordonnées horaires.

La déclinaison ne dépend pas du lieu. On passe de l'angle horaire H d'une direction OM pour un lieu Z à son angle horaire H' pour un lieu Z' par :

$$H' - H = L - L',$$

les longitudes L et L' des deux lieux étant comptées positivement vers l'ouest. Pour un lieu de

longitude astronomique L , l'angle horaire H d'une direction est lié à son ascension droite vraie α_V par la relation :

$$H = \text{GST} - \alpha_V - L, \quad (5.7)$$

Le temps sidéral vrai de Greenwich GST à la date t est donné par la formule (3.6.23).

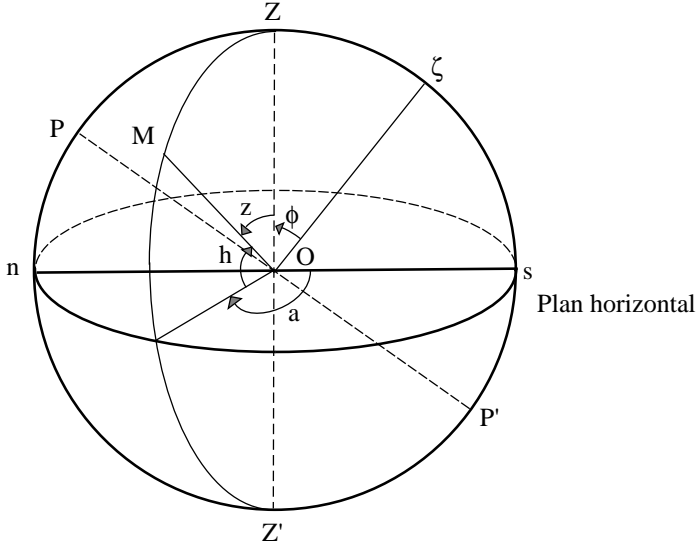


Fig. 5.3. Coordonnées horizontales.

- Les *coordonnées horizontales*, azimut a et hauteur h , d'une direction OM pour un lieu donné (Fig. 5.3), sont les coordonnées polaires de la direction rapportées au plan passant par O et perpendiculaire à l'axe OZ qui définit son orientation (plan horizontal). On appelle *vertical* tout demi-grand cercle de la sphère céleste limité par OZ et la direction opposée OZ' . Pour les astronomes, la direction origine dans le plan horizontal est la direction sud Os , intersection de ce plan et du vertical contenant la direction du pôle céleste sud P' . Pour les marins, la direction origine est On , intersection du plan horizontal et du vertical contenant la direction du pôle céleste nord P . L'azimut est compté positivement dans le sens rétrograde. On utilise parfois la distance zénithale z , à ne pas confondre avec la troisième coordonnée cartésienne, définie par :

$$z = 90^\circ - h. \quad (5.10)$$

Les différents systèmes de coordonnées correspondant à un repère de référence céleste donné sont récapitulés dans la table 5.1.

On trouvera dans la table 5.2 les noms que peuvent prendre certaines de ces coordonnées lorsqu'on ajoute aux coordonnées géométriques de l'astre des termes d'aberration. On pourra se reporter pour plus de détails au chapitre 4 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Les dénominations ainsi que les corrections appliquées correspondent

Table 5.1. Les coordonnées célestes usuelles.

Coordonnées	Plan de référence	Origine	Direction de Oz	Coordonnées polaires
écliptiques moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	écliptique moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle nord de l'écliptique	longitude λ sens positif = sens direct latitude β $-90^\circ < \beta < 90^\circ$
écliptiques moyennes de la date	écliptique moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
écliptiques vraies	écliptique moyen de la date	équinoxe vrai de la date		
équatoriales moyennes d'une date de référence (ex. J2000)	équateur céleste moyen de la date de référence	équinoxe moyen de la date de référence	pôle céleste nord	ascension droite α sens positif = sens direct déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
équatoriales moyennes de la date	équateur céleste moyen de la date	équinoxe moyen de la date		
équatoriales vraies	équateur céleste vrai de la date	équinoxe vrai de la date		
horaires d'un lieu	équateur céleste vrai de la date	intersection du méridien du lieu et du plan de référence	pôle céleste nord	angle horaire H sens positif = sens rétrograde déclinaison δ $-90^\circ < \delta < 90^\circ$
horizontales d'un lieu	plan horizontal du lieu	direction sud (astronomes) direction nord (marins)	zénith du lieu	azimut a sens positif = sens rétrograde hauteur h $-90^\circ < h < 90^\circ$

à celles présentes sur les serveurs d'éphémérides de l'IMCCE et dans le support informatique accompagnant *La Connaissance des temps*.

5.2.2. Coordonnées liées à un repère de référence terrestre

Un repère de référence terrestre est représenté par l'équateur terrestre A_0 , associé au pôle terrestre P_0 , et par une origine que l'on peut définir par exemple comme l'intersection du méridien terrestre origine et de l'équateur terrestre. Le méridien terrestre a une définition analogue au méridien céleste en remplaçant le pôle céleste par le pôle terrestre. Les coordonnées d'un point ou d'une direction

Table 5.2. Coordonnées célestes incluant des termes d'aberration. On notera ici σ_F , une époque de référence, en général J2000 et t , toute date autre.

Coordonnées	Plan de référence	Aberrations
géométriques à σ_F	écliptique ou équateur à σ_F	pas d'aberration
astrométriques à σ_F	écliptique ou équateur à σ_F	calcul du temps de lumière
moyennes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	astrométriques à σ_F + précession de σ_F à t
apparentes à la date t	écliptique ou équateur moyen à t	moyennes à la date t + nutation + déflexion des rayons lumineux + aberration annuelle + aberration diurne

dans le système d'axes ainsi défini ne diffèrent des coordonnées horaires célestes rapportées au méridien de Greenwich que par l'effet du mouvement du pôle (*cf.* 4.4).

On peut également définir la longitude et la latitude astronomiques d'un lieu rapportées à un repère terrestre. Ces quantités ne dépendent plus du mouvement du pôle mais peuvent encore subir de légères variations dues aux mouvements de l'écorce terrestre.

5.3. FORMULES DE CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Les formules de ce paragraphe utilisent les matrices de rotation élémentaires $R_i(\theta_i)$ définies par les équations (5.3), (5.4) et (5.5).

5.3.1. Relations entre coordonnées équatoriales et coordonnées écliptiques

On désigne par (x^A, y^A, z^A) les coordonnées cartésiennes équatoriales d'un point M et par (x^E, y^E, z^E) ses coordonnées cartésiennes écliptiques dans le même repère de référence. On pourra être dans l'un des cas suivants :

- coordonnées équatoriales vraies et écliptiques vraies,
- coordonnées équatoriales moyennes pour l'époque σ_F et écliptiques moyennes pour l'époque σ_F rapportées aux plans et à l'équinoxe d'une même date de référence σ_F (dans la pratique J2000),
- coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_D et écliptiques moyennes de la date σ_D .

En désignant par ε l'inclinaison de l'écliptique sur l'équateur, on passe des axes équatoriaux aux axes écliptiques par une rotation $R_1(\varepsilon)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon) \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^A \\ y^A \\ z^A \end{pmatrix} = R_1(-\varepsilon) \begin{pmatrix} x^E \\ y^E \\ z^E \end{pmatrix}. \quad (5.11)$$

En coordonnées polaires :

$$\begin{aligned} x^A &= r \cos \alpha \cos \delta, & x^E &= r \cos \lambda \cos \beta, \\ y^A &= r \sin \alpha \cos \delta, & y^E &= r \sin \lambda \cos \beta, \\ z^A &= r \sin \delta, & z^E &= r \sin \beta, \end{aligned}$$

d'où

$$\begin{aligned} \cos \lambda \cos \beta &= \cos \alpha \cos \delta, \\ \sin \lambda \cos \beta &= \sin \alpha \cos \delta \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon, \\ \sin \beta &= -\sin \alpha \cos \delta \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon, \end{aligned} \quad (5.12)$$

et

$$\begin{aligned} \cos \alpha \cos \delta &= \cos \lambda \cos \beta, \\ \sin \alpha \cos \delta &= \sin \lambda \cos \beta \cos \varepsilon - \sin \beta \sin \varepsilon, \\ \sin \delta &= \sin \lambda \cos \beta \sin \varepsilon + \sin \beta \cos \varepsilon. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Pour passer des coordonnées équatoriales vraies aux coordonnées écliptiques vraies, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon$, ε_A étant calculé, pour la date σ_D , à l'aide de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent, et $\Delta\varepsilon$ étant calculé à partir des tables de la nutation.

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes J2000 aux coordonnées écliptiques moyennes J2000, on prendra $\varepsilon = \varepsilon_0$, ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, étant la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

Pour passer des coordonnées équatoriales moyennes de la date aux coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_D , on prendra $\varepsilon = \varepsilon_A$, ε_A étant calculé comme pour les coordonnées vraies.

5.3.2. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F (dans la pratique J2000) aux coordonnées équatoriales rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^A , y_F^A , z_F^A les coordonnées cartésiennes et par α_F et δ_F l'ascension droite et la déclinaison. x_D^A , y_D^A , z_D^A , α_D et δ_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix} = P \begin{pmatrix} x_F^A \\ y_F^A \\ z_F^A \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

où P est la matrice de précession. On peut passer du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) de deux manières.

1) *Première méthode.* On effectue successivement les trois rotations $R_3(-\zeta_A)$, $R_2(\theta_A)$, $R_3(-z_A)$ ou, ce qui est équivalent, les trois rotations $R_3(90^\circ - \zeta_A)$, $R_1(\theta_A)$, $R_3(-90^\circ - z_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(-z_A) R_2(\theta_A) R_3(-\zeta_A) = R_3(-90^\circ - z_A) R_1(\theta_A) R_3(90^\circ - \zeta_A). \quad (5.15)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les ascensions droites et les déclinaisons :

$$\begin{aligned} \cos \delta_D \sin(\alpha_D - z_A) &= \cos \delta_F \sin(\alpha_F + \zeta_A), \\ \cos \delta_D \cos(\alpha_D - z_A) &= \cos \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) - \sin \theta_A \sin \delta_F, \\ \sin \delta_D &= \sin \theta_A \cos \delta_F \cos(\alpha_F + \zeta_A) + \cos \theta_A \sin \delta_F. \end{aligned} \quad (5.16)$$

z_A , ζ_A et θ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

Si le temps t écoulé entre σ_F et σ_D est court et si l'astre n'est pas voisin du pôle, on peut utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \alpha_F + (m + n \sin \bar{\alpha} \tan \bar{\delta}) t, \\ \delta_D &= \delta_F + n \cos \bar{\alpha} t, \end{aligned} \quad (5.17)$$

avec

$$t = (\text{jour julien } \sigma_D - \text{jour julien } \sigma_F) / 365\,250.$$

$\bar{\alpha}$ et $\bar{\delta}$ sont des valeurs approchées des coordonnées équatoriales moyennes de la date $\frac{1}{2}(\sigma_D + \sigma_F)$. La précession en ascension droite, m , est le coefficient de t dans l'expression de $z_A + \zeta_A$ déduite des polynômes de la table 4.2.1. La précession en déclinaison, n , est le coefficient de t dans l'expression de θ_A donnée par ces mêmes polynômes.

2) *Deuxième méthode.* On effectue successivement les quatre rotations $R_1(\varepsilon_0)$, $R_3(-\psi_A)$, $R_1(-\omega_A)$ et $R_3(\chi_A)$. La matrice de précession P s'écrit alors :

$$P = R_3(\chi_A) R_1(-\omega_A) R_3(-\psi_A) R_1(\varepsilon_0). \quad (5.18)$$

ψ_A , ω_A et χ_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 ; ε_0 , obliquité de l'écliptique en J2000, est la partie constante du polynôme de la table 4.2.1 choisi pour ε_A .

La première méthode n'utilise que trois rotations et conduit à des formules exactes (5.16) ou approchées (5.17) relativement simples mais elle utilise les variables z_A , ζ_A et θ_A qui sont déduites des variables ψ_A , ω_A , ε_A et χ_A et qui sont, de plus, singulières (θ_A et $z_A + \zeta_A$ s'annulent en J2000). Il est donc préférable d'utiliser la deuxième méthode qui est celle que l'on utilise pour les éphémérides publiées dans la *Connaissance des Temps*.

5.3.3. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de deux dates

Il s'agit du passage des coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date de référence σ_F aux coordonnées écliptiques rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D , qui peut être soit une autre date de référence soit la date courante. Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Dans le système d'axes de l'époque σ_F , on désigne par x_F^E, y_F^E, z_F^E les coordonnées cartésiennes et par λ_F et β_F la longitude et la latitude. $x_D^E, y_D^E, z_D^E, \lambda_D$ et β_D désignent les quantités correspondantes dans le système d'axes de l'époque σ_D . On passe du système d'axes de l'époque σ_F au système d'axes de l'époque σ_D (Fig. 4.2) en effectuant successivement les trois rotations $R_3(\Pi_A), R_1(\pi_A), R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A)$:

$$\begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} = R_3(-\Pi_A - \mathcal{P}_A) R_1(\pi_A) R_3(\Pi_A) \begin{pmatrix} x_F^E \\ y_F^E \\ z_F^E \end{pmatrix} \quad (5.19)$$

On déduit de ces produits de matrices les relations suivantes entre les longitudes et les latitudes :

$$\begin{aligned} \cos \beta_D \cos(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \beta_F \cos(\Pi_A - \lambda_F), \\ \cos \beta_D \sin(\Pi_A + \mathcal{P}_A - \lambda_D) &= \cos \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) - \sin \pi_A \sin \beta_F, \\ \sin \beta_D &= \sin \pi_A \cos \beta_F \sin(\Pi_A - \lambda_F) + \cos \pi_A \sin \beta_F. \end{aligned} \quad (5.20)$$

π_A, Π_A et \mathcal{P}_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1.

5.3.4. Relations entre les coordonnées écliptiques moyennes de la date et les coordonnées écliptiques vraies

Pour les coordonnées écliptiques moyennes de la date, on désigne par x_D^E, y_D^E, z_D^E les coordonnées cartésiennes et par λ_D et β_D la longitude et la latitude. Les coordonnées écliptiques vraies sont notées $x_V^E, y_V^E, z_V^E, \lambda_V$ et β_V . Le système d'axes vrai se déduit du système d'axes moyen (Fig. 4.2) par la rotation $R_3(-\Delta\psi)$. Donc,

$$\begin{pmatrix} x_V^E \\ y_V^E \\ z_V^E \end{pmatrix} = R_3(-\Delta\psi) \begin{pmatrix} x_D^E \\ y_D^E \\ z_D^E \end{pmatrix} \quad (5.21)$$

et

$$\begin{aligned} \lambda_V &= \lambda_D + \Delta\psi, \\ \beta_V &= \beta_D, \end{aligned} \quad (5.22)$$

où $\Delta\psi$ est calculé à partir des tables de la nutation.

5.3.5. Relations entre les coordonnées équatoriales moyennes de la date et les coordonnées équatoriales vraies

Pour les coordonnées équatoriales moyennes de la date, on désigne par x_D^A , y_D^A , z_D^A les coordonnées cartésiennes et par α_D et δ_D l'ascension droite et la déclinaison. Les coordonnées équatoriales vraies sont notées x_V^A , y_V^A , z_V^A , α_V et δ_V . On écrit :

$$\begin{pmatrix} x_V^A \\ y_V^A \\ z_V^A \end{pmatrix} = N \begin{pmatrix} x_D^A \\ y_D^A \\ z_D^A \end{pmatrix}, \quad (5.23)$$

où N est la matrice de nutation. On passe du système d'axes moyen au système d'axes vrai en effectuant successivement les rotations $R_1(\varepsilon_A)$, $R_3(-\Delta\psi)$, $R_1(-\varepsilon'_A)$, en posant :

$$\varepsilon'_A = \varepsilon_A + \Delta\varepsilon.$$

La matrice de nutation s'écrit donc :

$$N = R_1(-\varepsilon'_A) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon_A). \quad (5.24)$$

On déduit de ces produits de matrices

$$\begin{aligned} \cos \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\psi \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\psi (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \alpha_V \cos \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\psi \cos \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D - \sin \Delta\varepsilon \sin \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \cos \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \\ \sin \delta_V &= \cos \Delta\varepsilon \sin \delta_D + \sin \Delta\psi \sin \varepsilon'_A \cos \alpha_D \cos \delta_D + \sin \Delta\varepsilon \sin \alpha_D \cos \delta_D \\ &\quad - 2 \sin^2 \frac{\Delta\psi}{2} \sin \varepsilon'_A (\cos \varepsilon_A \sin \alpha_D \cos \delta_D + \sin \varepsilon_A \sin \delta_D), \end{aligned} \quad (5.25)$$

où $\Delta\psi$ et $\Delta\varepsilon$ sont calculés à partir des tables de la nutation et ε_A à partir de l'un des polynômes de la table 4.2.1 qui lui correspondent.

Si $\tan \delta_D$ n'est pas trop grand, on peut utiliser les formules approchées suivantes :

$$\begin{aligned} \alpha_V &= \alpha_D + \Delta\psi (\cos \varepsilon_A + \sin \varepsilon_A \sin \alpha_D \tan \delta_D) - \Delta\varepsilon \cos \alpha_D \tan \delta_D, \\ \delta_V &= \delta_D + \Delta\psi \sin \varepsilon_A \cos \alpha_D + \Delta\varepsilon \sin \alpha_D. \end{aligned} \quad (5.26)$$

5.3.6. Relations entre les coordonnées horaires et les coordonnées horizontales pour un même lieu

Désignons par x^H , y^H , z^H les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horaire. L'axe Ox de ce système se confond avec Oç et l'axe Oz avec OP (Fig. 5.2). Désignons par x^h , y^h , z^h les coordonnées cartésiennes dans un système d'axes horizontal, au sens des astronomes. L'axe Oz de ce système se confond avec OZ (Fig. 5.3).

Par suite des conventions de sens utilisées pour l'angle horaire et l'azimut, on a :

$$\begin{aligned}x^H &= r \cos H \cos \delta, & x^h &= r \cos a \cos h, \\y^H &= -r \sin H \cos \delta, & y^h &= -r \sin a \cos h, \\z^H &= r \sin \delta, & z^h &= r \sin h.\end{aligned}$$

On passe du système d'axes horaire au système d'axes horizontal par la rotation $R_2(90^\circ - \phi)$, où ϕ est la latitude du lieu. Donc :

$$\begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix} = R_2(90^\circ - \phi) \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} \quad \text{et} \quad \begin{pmatrix} x^H \\ y^H \\ z^H \end{pmatrix} = R_2(\phi - 90^\circ) \begin{pmatrix} x^h \\ y^h \\ z^h \end{pmatrix}. \quad (5.27)$$

D'où :

$$\begin{aligned}\cos a \cos h &= \sin \phi \cos H \cos \delta - \cos \phi \sin \delta, \\ \sin a \cos h &= \sin H \cos \delta,\end{aligned} \quad (5.28)$$

$$\sin h = \cos \phi \cos H \cos \delta + \sin \phi \sin \delta,$$

$$\begin{aligned}\cos H \cos \delta &= \sin \phi \cos a \cos h + \cos \phi \sin h, \\ \sin H \cos \delta &= \sin a \cos h,\end{aligned} \quad (5.29)$$

$$\sin \delta = -\cos \phi \cos a \cos h + \sin \phi \sin h.$$

Dans ces formules, la hauteur peut être remplacée par la distance zénithale à l'aide de (5.10).

L étant la longitude du lieu, on obtiendra les relations entre les coordonnées horizontales et les coordonnées équatoriales vraies α_V et δ_V en remplaçant H par le second membre de (5.7) et δ par δ_V .

5.3.7. Variations des éléments d'une orbite sous l'effet d'un changement de date de référence

Il s'agit du passage des éléments d'une orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_F aux éléments de la même orbite rapportés à l'écliptique et à l'équinoxe moyens d'une date σ_D . Dans les deux cas le repère de référence est le même.

Le demi-grand axe et l'excentricité de l'orbite, ainsi que l'anomalie moyenne d'un point quelconque, ne changent pas. On désigne par i_F et Ω_F , respectivement, l'inclinaison et la longitude du nœud ascendant de l'orbite sur l'écliptique moyen de l'époque σ_F , et par ϖ_F la longitude du périastre P. Les quantités rapportées au système d'axes de l'époque σ_D sont i_D , Ω_D et ϖ_D .

Sur la figure 5.4, on a entre les arcs les égalités suivantes :

$$\gamma_F N_F = \Omega_F,$$

$$\gamma_D N_D = \Omega_D,$$

$$\varpi_F = \gamma_F N_F + N_F P,$$

$$\varpi_D = \gamma_D N_D + N_D P.$$

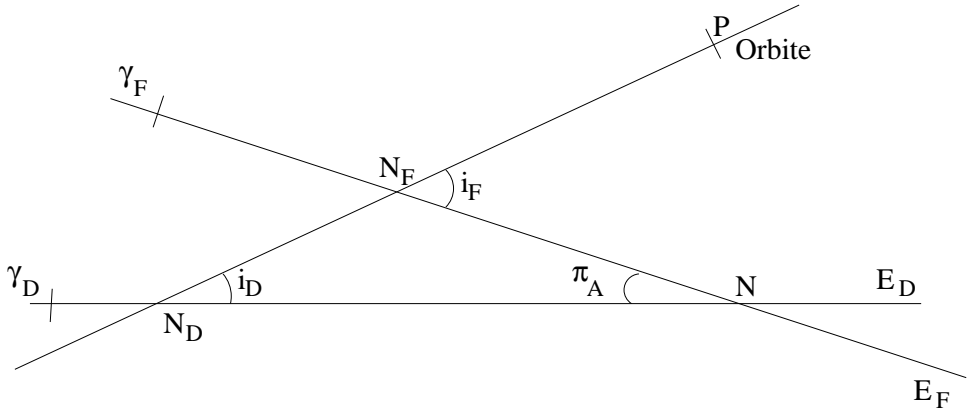


Fig. 5.4. Éléments d'une orbite.

En désignant par $\Delta\omega$ l'arc $N_D N_F$, on a :

$$\varpi_D - \varpi_F = \Omega_D - \Omega_F + \Delta\omega.$$

En comparant les figures 4.2 et 5.4, on voit que :

$$N_F N = \Pi_A - \Omega_F,$$

$$N_D N = \mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D.$$

Dans le triangle sphérique $N_D N N_F$, les relations suivantes permettent de calculer i_D , Ω_D , ϖ_D en fonction de i_F , Ω_F , ϖ_F :

$$\begin{aligned} \cos i_D &= \cos i_F \cos \pi_A + \sin i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= \sin i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos(\mathcal{P}_A + \Pi_A - \Omega_D) &= -\cos i_F \sin \pi_A + \sin i_F \cos \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \sin \Delta\omega &= \sin \pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \sin i_D \cos \Delta\omega &= \sin i_F \cos \pi_A - \cos i_F \sin \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \end{aligned} \quad (5.30)$$

où π_A et Π_A sont calculés à partir des polynômes de la table 4.2.1 qui leur correspondent.

Si le temps t écoulé entre σ_D et σ_F est suffisamment court pour que les quantités π_A , $\Delta\omega$ et $i_D - i_F$ soient suffisamment petites et si i_F n'est pas trop voisin de zéro, on pourra utiliser les relations approchées suivantes :

$$\begin{aligned} i_D &= i_F - \pi_A \cos(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Omega_D &= \Omega_F + \mathcal{P}_A - \pi_A \cot i_F \sin(\Pi_A - \Omega_F), \\ \Delta\omega &= \frac{\pi_A \sin(\Pi_A - \Omega_F)}{\sin i_F}. \end{aligned} \quad (5.31)$$

5.3.8. Changement de repère de référence

On considère deux repères de référence notés 1 et 2 pour lesquels la date de référence σ_F et l'équateur de référence (équateur moyen de la date σ_F) sont les mêmes. On désigne par γ_1 et γ_2 les équinoxes des deux repères (équinoxes moyens de la date σ_F), par ε_1 et ε_2 les inclinaisons de l'écliptique (moyen de la date σ_F) sur l'équateur (moyen de la date σ_F) pour les deux repères (Fig. 5.5) et par $\Delta\phi$ l'arc $\gamma_1\gamma_2$.

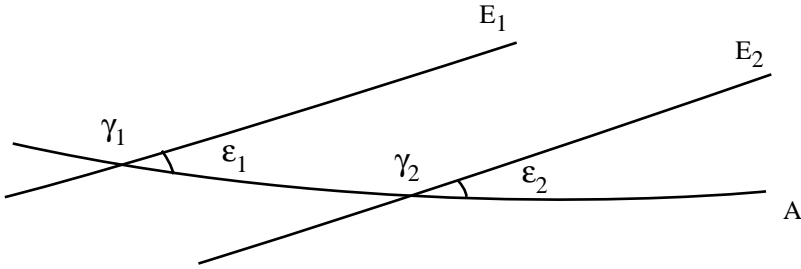


Fig. 5.5. Changement de repère.

On note :

$x_{F,i}^A, y_{F,i}^A, z_{F,i}^A$, les coordonnées équatoriales moyennes de la date σ_F dans le repère i ($i = 1$ ou 2) ;

$x_{F,i}^E, y_{F,i}^E, z_{F,i}^E$, les coordonnées écliptiques moyennes de la date σ_F dans le même repère.

On passe du système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère par une rotation $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes équatorial de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$ et $R_3(\Delta\phi)$. On passe du système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le premier repère au système d'axes écliptique de l'époque σ_F dans le deuxième repère en effectuant successivement les rotations $R_1(-\varepsilon_1)$, $R_3(\Delta\phi)$, $R_1(\varepsilon_2)$. Donc :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \tag{5.32}$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \tag{5.33}$$

et :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = R_1(\varepsilon_2) R_3(\Delta\phi) R_1(-\varepsilon_1) \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}. \tag{5.34}$$

$\Delta\phi$ et $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$ étant en général très petits, on pourra le plus souvent utiliser les formules approchées suivantes, déduites des formules (5.32), (5.33) et (5.34) :

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi & 0 \\ -\Delta\phi & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^A \\ y_{F,1}^A \\ z_{F,1}^A \end{pmatrix}, \quad (5.35)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^A \\ y_{F,2}^A \\ z_{F,2}^A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi & \cos \varepsilon_1 & -\sin \varepsilon_1 \\ 0 & \sin \varepsilon_1 & \cos \varepsilon_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.36)$$

$$\begin{pmatrix} x_{F,2}^E \\ y_{F,2}^E \\ z_{F,2}^E \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \Delta\phi \cos \varepsilon_1 & -\Delta\phi \sin \varepsilon_1 \\ -\Delta\phi \cos \varepsilon_1 & 1 & \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \\ \Delta\phi \sin \varepsilon_1 & -(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{F,1}^E \\ y_{F,1}^E \\ z_{F,1}^E \end{pmatrix}, \quad (5.37)$$

où $\Delta\phi$, ε_1 et ε_2 sont exprimés en radians.

5.4. APPLICATION DES RÉOLUTIONS DE L'UAI 2001 AUX CHANGEMENTS DE COORDONNÉES

Lors de la vingt-quatrième assemblée générale de l'UAI (UAI 2001), ont été adoptées plusieurs résolutions liées aux transformations entre systèmes de référence céleste et terrestre. Une présentation détaillée de ces résolutions est faite en 3.6. Dans ce paragraphe, nous donnons deux algorithmes permettant le passage entre systèmes de référence céleste et terrestre : l'une utilisant la procédure UAI en usage jusqu'en 2001, l'autre se basant sur le concept d'origine non-tournante.

5.4.1. Algorithme classique

Lorsque des observations faites au sol doivent être préparées ou analysées pour une comparaison à un modèle, il est nécessaire d'effectuer des changements de coordonnées exprimées d'une part dans le repère terrestre, lié à la physique et à la rotation de la Terre, et d'autre part dans le repère céleste, lié au mouvement de l'objet observé et de la Terre autour du Soleil. Ainsi, supposons que l'on souhaite calculer les coordonnées locales, azimut et hauteur, d'un objet à une date t . Pour cela, on calculera, à partir d'une théorie dynamique de l'objet et de la Terre développée dans l'ICRS, les vecteurs barycentriques de l'objet et de la Terre à la date t en TDB (*cf.* chapitre 2). On en déduira le vecteur géocentrique de l'objet que l'on corrigera du temps de lumière, de la déflexion des

rayons lumineux due au Soleil et à d'autres objets massifs si cela est nécessaire, et de l'aberration annuelle. Pour toutes ces notions, on se reportera au chapitre 7 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997). Le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , ainsi obtenu, décrit la position et la vitesse géocentriques de l'objet par rapport à l'origine des ascensions droites de l'ICRS et dans le plan équatorial de l'ICRS. Afin de calculer des coordonnées dans le repère terrestre, il est nécessaire d'appliquer les rotations suivantes :

1. L'ICRS a un repère (l'ICRF), dit cinématique, indépendant du mouvement de la Terre autour du Soleil. Il faut donc ramener le vecteur \mathbf{X}_{ICRS} dans un repère lié à la dynamique planétaire, c'est-à-dire dans le repère de référence dynamique J2000. Pour cela, on applique la matrice B de rotation correspondant au décalage entre l'origine des ascensions droites de l'ICRS et l'équinoxe moyen J2000, ainsi qu'au passage de l'équateur ICRS à l'équateur moyen J2000. On a :

$$B = R_1(-\eta_0)R_2(\zeta_0)R_3(d\alpha_0) \quad (5.38)$$

où les décalages η_0 et ζ_0 (cf. 3.6.6) associés au modèle de nutation UAI 2000A sont (Capitaine et al., 2003) : $\eta_0 = -0.016617''$, $\zeta_0 = -0.006819''$. Le décalage $d\alpha_0$ est (Chapront et al., 2002) : $d\alpha_0 = -0.0146''$.

2. On applique la matrice de précession, P définie en 5.3.2, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens J2000 à l'équateur et à l'équinoxe moyens de la date.
3. On applique la matrice de nutation, N définie en 5.3.5, pour passer de l'équateur et de l'équinoxe moyens de la date à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. Ici, il est possible de passer aux coordonnées sphériques et d'obtenir les (α_e, δ_e) géocentriques de l'objet par rapport à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.
4. Afin de passer du vecteur géocentrique de l'objet donné par rapport à l'équateur et l'équinoxe vrais de la date au vecteur géocentrique exprimé dans le système de référence terrestre, appelé TIRS (Terrestrial Intermediate Reference System), on effectue une rotation $R_3(GST)$ liée à l'angle de rotation terrestre GST , appelé le temps sidéral vrai, c'est-à-dire l'angle entre l'équinoxe vrai de la date et l'origine du repère terrestre (cf. 3.6.4.1). Le vecteur est alors exprimé dans le repère terrestre.

Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observer à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = GST - \alpha_e$. Le temps sidéral GST est tabulé pages II. 4 – II. 7.

5.4.2. Origine non-tournante

L'origine non-tournante favorise une représentation linéaire de la rotation de la Terre. C'est la raison pour laquelle l'origine du CIRS (Celestial Intermediate Reference System), appelée CIO (cf. 3.6.3), est utilisée en remplacement des équinoxes dynamiques. L'utilisation de l'origine non-tournante permet aussi de regrouper les transformations (1), (2) et (3) précédentes en une seule transformation permettant le passage de l'ICRS vers le CIRS. Cette transformation, correspondant à la matrice de rotation C , représente :

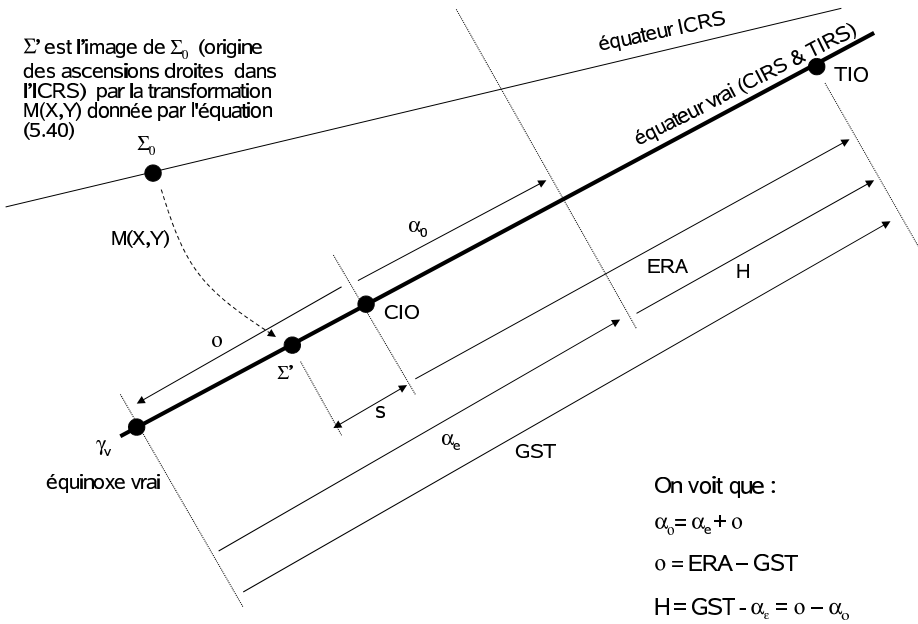


Fig. 5.6. Angles liés à l'origine non-tournante et angles classiques.

- l'angle s qui définit la position du CIO, origine des ascensions droites du CIRS, sur l'équateur du CIRS (cf. fig. 5.6) ;
- le décalage entre le pôle de l'ICRS et le pôle du CIRS, le CIP (cf. 3.6.3), dont les coordonnées X, Y dans l'ICRS sont fonction des matrices B, P et N .

La matrice C s'écrit alors :

$$C = R_3(-s)M(X, Y) \tag{5.39}$$

où

$$M(X, Y) = \begin{pmatrix} 1 - aX^2 & -aXY & -X \\ -aXY & 1 - aY^2 & -Y \\ X & Y & 1 - a(X^2 + Y^2) \end{pmatrix}, \tag{5.40}$$

avec $a = 1/2 + (X^2 + Y^2)/8$.

En appliquant au vecteur \mathbf{X}_{ICRS} , la matrice C , on obtient directement les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{CIRS} , dans le CIRS dont l'équateur correspond à l'équateur vrai de la date mais dont l'origine CIO est décalée de l'équinoxe vrai d'une quantité o , appelée *équation aux origines*. Si

(α_o, δ_o) sont les coordonnées sphériques déduites du vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , alors on a :

$$\alpha_o = \alpha_e + o$$

Si on note ERA (Earth Rotation Angle), le décalage entre le CIO et le TIO (Terrestrial Intermediate Origin), origine du TIRS, alors

$$o = ERA - GST \quad (5.41)$$

Le décalage entre le CIO et le TIO permet, de plus, le passage entre le CIRS et le TIRS. Ainsi, pour obtenir les positions et vitesses de l'objet, \mathbf{X}_{TIRS} , dans le système de référence terrestre, on applique au vecteur \mathbf{X}_{CIRS} , une rotation $R_3(ERA)$. On effectue ainsi une transformation équivalente à l'étape 4 de l'algorithme classique. Une fois ces rotations appliquées, il est alors possible de calculer l'azimut et la hauteur de l'objet que l'on souhaite observé à partir des relations données en 5.3.6. L'angle horaire H est obtenu avec $H = ERA - \alpha_o$.

Les coordonnées X, Y et la variable s sont tabulées pages II. 16 – II. 19 ; ERA et o sont tabulées pages II. 10 – II. 13.

La figure 5.6 illustre les relations entre les angles liés à l'origine non-tournante et les angles classiques.

5.4.3. Mouvement du pôle

Dans le cas où une grande précision est demandée, il est alors nécessaire de considérer le passage entre le TIRS et l'ITRS, système dans lequel sont données les coordonnées géocentriques des stations d'observations (*cf.* 4.4). Pour cela, on effectue à la suite de l'étape 4 de l'algorithme classique ou de son équivalent dans l'algorithme de l'origine non-tournante, les rotations $R_2(-x)R_1(-y)R_3(s')$ où :

- la matrice $R_3(s')$ est liée au petit décalage d'origine, s' , entre l'origine du TIRS et celle de l'ITRS. Ce décalage est en fait une dérive séculaire entre les deux origines et est tel que $s' = -0.000047''T$ où T est mesuré en siècle julien depuis J2000.0,
- le produit $R_2(-x)R_1(-y)$ représente le mouvement du pôle céleste dans l'ITRS, (x, y) étant les coordonnées du pôle du TIRS dans l'ITRS. Ces coordonnées sont fournies par l'IERS (*cf.* 4.4).

5.5. BIBLIOGRAPHIE

- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques, (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. eds, EDP Sciences, Les Ulis, chapitre 4, 80–83 et 98–114.
- Capitaine, N., Chapront J., Lambert, S., Wallace, P.T. : 2003, Expressions for the Celestial Intermediate Pole and Celestial Ephemeris Origin consistent with the IAU 2000A precession-nutation model, *Astron. Astrophys.* **400**, 1145.
- Chapront, J., Chapront-Touzé, M., Francou, G. : 2002, A new determination of lunar orbital parameters, precession constant and tidal acceleration from LLR measurements, *Astron. Astrophys.* **387**, 700.

CHAPITRE 6

MOUVEMENT DES PLANÈTES ET DE LA LUNE : LA SOLUTION INPOP

A. FIENGA

6.1. INTRODUCTION

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes publiées dans la *Connaissance des Temps* sont issues de la théorie INPOP (Intégration Numérique Planétaire de l'Observatoire de Paris) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Pour le Soleil et les planètes, la théorie INPOP06 ajustée aux observations (Fienga et al., 2008) a été utilisée. Pour la Lune, on s'est basé sur la théorie INPOP06 ajustée à la solution DE405/LE405 du JPL (Standish, 1998) pour la partie lunaire.

La théorie INPOP est une intégration numérique du mouvement des planètes et de la Lune ajustée aux observations. Les éphémérides numériques contemporaines sont basées sur une intégration numérique des équations du mouvement par la méthode Adams-Cowell. Le modèle tient compte des interactions entre masses ponctuelles (entre les neuf planètes, le Soleil, les astéroïdes), les effets relativistes PPN (Moyer, 2000), les effets de figure, les marées solides et la libration de la Lune. Dans le cas d'INPOP, l'ensemble de l'intégration est effectué en précision étendue. L'ajustement d'INPOP a été effectué sur un grand nombre (environ 50 000) d'observations terrestres et spatiales.

6.2. MODÈLE DYNAMIQUE

Les équations du mouvement utilisées sont celles décrites par Moyer (1971) dans le cadre d'une approximation PPN. Les perturbations sur l'ensemble des planètes et sur le Soleil des 300 astéroïdes les plus perturbateurs du point de vue de Mars ont été incluses. Ces objets ont leurs orbites intégrées en même temps que celles des planètes principales. De plus, afin d'affiner le modèle dynamique des planètes et du Soleil, les perturbations induites par un anneau d'astéroïdes ont été ajoutées.

Les interactions entre corps non-sphériques et objets ponctuels ont été prises en compte. Il s'agit des interactions entre le terme d'aplatissement du Soleil (J2) et les planètes, des interactions entre le terme d'aplatissement de la Terre et la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter. Enfin, on tient compte des perturbations induites par les interactions entre les termes (J2, C22, C21, S21, S22) de la Lune et la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter. De plus, les déformations des corps non-sphériques (le Soleil, la Terre et la Lune) interagissent aussi avec les corps ponctuels et réciproquement. Dans INPOP, on tient compte des interactions suivantes :

- la Terre déformée par le Soleil et la Lune interagissant avec la Lune, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la Lune déformée par la Terre et le Soleil interagissant avec la Terre, le Soleil, Vénus et Jupiter,
- la forme de la Terre interagissant avec la forme de la Lune.

Une nouvelle définition plus complète du barycentre du système solaire a été donnée par INPOP. L'orbite du Soleil par rapport au barycentre du système solaire est intégrée en même temps que celles des planètes et les relations de conservation d'énergie sont vérifiées à la date initiale d'intégration (J2000) de telle façon que :

$$\sum_i \mu_i^* r_i = 0 \text{ et } \sum_i \mu_i^* \dot{r}_i + \dot{\mu}_i^* r_i = 0, \quad (6.1)$$

où les r_i sont les vecteurs position barycentrique des corps. Les μ_i^* sont les fonctions suivantes des masses $\mu_i = Gm$:

$$\mu_i^* = \mu_i \left(1 + \frac{v_i^2}{2c^2} - \frac{1}{2c^2} \sum_{j \neq i} \frac{\mu_j}{r_{ij}} \right).$$

Le second terme de l'équation (6.1) est en général omis dans les définitions du barycentre du système solaire. Cet ajout permet une meilleure cohérence de la solution planétaire avec les recommandations de l'UAI (UAI, 2001) et n'induit pas d'effets détectables dans les calculs (Le Poncin-Lafitte, 2006).

Enfin, afin de suivre les recommandations de l'UAI concernant les échelles de temps (UAI, 2001), deux versions d'INPOP seront disponibles en 2007 : l'une en TCB et l'autre en TDB.

L'échelle de temps TCB réalisée par INPOP est construite à partir de la définition donnée par l'UAI (Soffel et al., 2003) :

$$\begin{aligned} TCB - TCG = & \frac{1}{c^2} \left[\int_{t_0}^t \left[U + \frac{v_E^2}{2} \right] dt + v_E^i r_E^i \right] \\ & + \frac{1}{c^4} \left[\int_{t_0}^t \left[\frac{v_E^4}{8} + \frac{3v_E^2 U}{2} - \frac{U^2}{2} - 4v_E^i U^i \right] dt - \left(3U + \frac{v_E^2}{2} \right) v_E^i r_E^i \right], \end{aligned} \quad (6.2)$$

le TCG étant défini par une relation linéaire de TAI (*cf.* 2.7.3). Dans l'équation (6.2), x_E^i et v_E^i sont les coordonnées barycentriques position et vitesse du géocentre, $r_E^i = x^i - x_E^i$, et U est le potentiel gravitationnel imposé par les autres corps du système solaire sur la Terre. Un processus itératif est nécessaire pour estimer la relation TCB-TCG réalisée avec INPOP et pour mettre en place une nouvelle solution d'INPOP en TCB.

6.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La partie planétaire d'INPOP a été ajustée aux observations présentées dans la table 6.1. Un grand nombre d'observations issues des données de suivi des sondes spatiales a été utilisé en particulier pour les planètes Mars, Vénus et Jupiter. Ces observations consistent d'une part, en l'enregistrement du signal aller-retour émis depuis la Terre, capté puis ré-émis par la sonde, soit en orbite autour de la planète (la sonde est alors appelée orbiter), soit au sol (la sonde est appelée lander). De telles données permettent une estimation très précise de la distance géocentrique (quelques mètres) et de la vitesse radiale (quelques millimètres par seconde) de la planète. Dans la table 6.1, ces données sont nommées respectivement données radar et Doppler.

D'autre part, l'enregistrement VLBI du signal émis par la sonde passant au voisinage d'une source de référence radio extragalactique ICRF permet d'estimer une position angulaire différentielle de la sonde et de la planète par rapport à la source ICRF. Ce dernier type d'observation a une précision de quelques millisecondes de degrés et permet de raccorder le repère de référence dynamique de la solution planétaire à l'ICRF (*cf.* 3.3).

Depuis trente ans, plusieurs missions spatiales ont été envoyées en orbite ou sur le sol de Mars. Cette planète est ainsi celle dont le suivi a été le plus intensif et le plus précis jamais effectué. Elle requiert donc une modélisation très précise de son orbite. Or, du fait de son voisinage proche de la ceinture principale d'astéroïdes, elle subit de nombreuses perturbations induites par des objets de masses et de tailles mal connues. C'est pourquoi, un modèle dynamique complexe a été mis en place (prise en compte des perturbations induites par les masses ponctuelles de 300 astéroïdes et par un potentiel en anneau représentant l'ensemble des autres petites corps de masses et de tailles non déterminées). De plus, il a été nécessaire d'ajuster les masses des objets les plus massifs, les densités des autres petits corps classés en classes taxonomiques (objets riches en carbone, en silicate et en métaux) ainsi que les caractéristiques physiques de l'anneau d'astéroïdes. Par cette modélisation de l'orbite de Mars et ces ajustements, une précision de quelques mètres a été obtenue dans l'estimation des distances géocentriques de Mars.

Des observations optiques classiques de type CCD, instruments méridiens (notées transit dans la table 6.1) et plaques photographiques ont aussi été incluses, en particulier dans l'ajustement des planètes extérieures. Les périodes orbitales importantes de celles-ci nécessitent de conserver des observations anciennes permettant de couvrir au moins une orbite. Pour Jupiter et Saturne,

Table 6.1. Observations utilisées pour l'ajustement d'INPOP.

Planète	Type des données	Intervalle de temps	Nombre d'observations	INPOP06
Mercure	Radar	1971-1998	444	1 km
Vénus	Radar	1964-1990	511	5 km
	Sonde spatiale VLBI	1990-1994	18	5 mas
Mars	Viking lander radar	1976-1983	1256	20 m
	MGs/MO radar	1999-2005.45	10474	5 m
	Viking lander Doppler	1976-1979	1501	5 mm/s
	Pathfinder lander Doppler	1997	1519	1 mm/s
	Sonde spatiale VLBI	1989-2003	44	0.5 mas
Jupiter	Sonde spatiale VLBI	1996-1998	24	10 mas
	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3189	200 mas
Saturne	CCD ou transit (α, δ)	1973-2004	3863	200 mas
Uranus	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3848	350 mas
Neptune	CCD ou transit (α, δ)	1914-2004	3898	350 mas
Pluton	CCD ou transit (α, δ)	1989-2004	1024	200 mas

des observations des satellites sont utilisées afin de limiter l'utilisation d'observations directes du photocentre de la planète. La description complète des méthodes d'analyses des observations et d'ajustement peuvent être retrouvées dans Fienga et al. (2008).

Dans la table 6.1, on donne en dernière colonne des estimations de la précision externe d'INPOP pour chaque type d'observations. Ces valeurs reflètent la qualité du modèle dynamique mis en place, de l'ajustement effectué et des observations utilisées.

Pour la Lune, un ajustement à la solution DE/LE405 a été effectué dans l'attente d'une solution complètement ajustée aux observations laser-Lune. Des incertitudes de quelques milliarcsecondes en longitude et latitude géocentriques et de quelques millimètres sur la distance géocentrique ont été estimées sur un siècle, par comparaison à LE405. Les différences entre les angles de libration issus de LE405 et ceux issus d'INPOP06 sont de l'ordre de quelques milliarcsecondes sur un siècle.

Au cours de l'ajustement de la partie planétaire aux observations et de la partie lunaire à LE405, plusieurs paramètres physiques liés principalement aux perturbations induites par les astéroïdes sur Mars et à la dynamique lunaire ont été déterminés. Un ajustement du taux d'aplatissement du

Table 6.2. Paramètres physiques ajustés dans INPOP. Comparaisons avec d'autres valeurs.

	Unité	DE405	EPM 04	DE414	INPOP06
Masse de Cérès	$10^{-10} M_{\odot}$	4.64	4.753 ± 0.007	4.699	4.746 ± 0.006
Masse de Vesta	$10^{-10} M_{\odot}$	1.34	1.344 ± 0.001	1.358	1.338 ± 0.002
Masse de Pallas	$10^{-10} M_{\odot}$	1.05	1.027 ± 0.003	1.026	0.995 ± 0.003
Masse d'Iris	$10^{-10} M_{\odot}$		0.063 ± 0.001	0.060	0.089 ± 0.002
Masse de Bamberga	$10^{-10} M_{\odot}$		0.055 ± 0.001	0.047	0.060 ± 0.002
Masse de l'anneau	$10^{-10} M_{\odot}$		3.35 ± 0.35	0.329	0.34 ± 0.15
Distance de l'anneau	UA		3.13 ± 0.05	2.8	2.8
Densité de la classe C		1.8	1.4	1.6 ± 0.22	1.93 ± 0.12
Densité de la classe S		2.4	3.5	2.07	2.13 ± 0.11
Densité de la classe M		5.0	4.5	4.3 ± 0.43	4.47 ± 0.012
J2 du Soleil	10^{-7}	2	1.9 ± 0.3	2.3 ± 2.5	1.95 ± 0.55

Soleil a aussi été réalisé. L'ensemble des paramètres ajustés ainsi que les valeurs obtenues ont été rassemblés dans la table 6.2 et la table 6.3. La table 6.2 permet, de plus, la comparaison avec les valeurs provenant de DE405 (Standish, 1998), EPM 04 (Pitjeva, 2005) et DE414 (Konopliv et al., 2006).

Table 6.3. Paramètres physiques liés aux calculs de marées terrestres et lunaires. τ_{E21} et τ_{E22} sont respectivement le temps de retard de la Terre pour les harmoniques (2,1) et (2,2). τ_M est le temps de retard dans la réponse de la Lune aux marées terrestres. Ces quantités sont exprimées en jours.

τ_{E21} :	$1.296\,450\,346\,419\,947\,8082 \times 10^{-2}$
τ_{E22} :	$6.936\,812\,466\,537\,533\,1321 \times 10^{-3}$
τ_M :	$1.667\,744\,540\,482\,935\,7669 \times 10^{-1}$

6.4. BIBLIOGRAPHIE

- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *A&A* **477**, 315.
- Konopliv, A.S., Yoder, C.F., Standish, E.M., Yuan, D.-N., Sjogren, W.L. : 2006, A global solution for the Mars static and seasonal gravity, Mars orientation, Phobos and Deimos masses, and Mars ephemeris. *Icarus* **182**, 23.
- Le Poncin-Lafitte, Ch. : 2006, communication privée.
- Moyer, T.D. : 2000, Formulation for Observed and Computed Values of Deep Space Network Data Types for Navigation, Joseph H. Yuen éd, John Wiley & Sons.
- Pitjeva, E.V. : 2005, High-Precision Ephemerides of Planets–EPM and Determination of Some Astronomical Constants, *Solar System Research* **39**, 176.
- Soffel, M., Klioner, S.A., Petit, G., Wolf, P., Kopeikin, S.M., Bretagnon, P., Brumberg, V.A. et 13 co-auteurs : 2003, The new IAU2000 resolutions for astrometry, celestial mechanics and metrology in the relativistic framework : explanatory supplement, *Astron. J.* **126**, 2687.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, *JPLIOM* **312.F**.
- UAI : 2001, Resolutions of the twenty-fourth General Assembly, *IAU Information Bull.* **88**, 28–40 (Errata : *ibid.* **89**, 4, 2001).

CHAPITRE 7

MODÈLES ORBITAUX DES SATELLITES NATURELS

V. LAINEY ET A. VIENNE

7.1. INTRODUCTION

Jusqu'au début des années quatre-vingt-dix, les modèles orbitaux des corps du système solaire étaient réalisés par des méthodes analytiques. La diversité des perturbations mises en jeu ainsi que la présence de nombreuses résonances nécessitaient de développer une théorie spécifique à chaque système de satellites. Aujourd'hui, l'avènement des méthodes numériques permet de développer de nombreux modèles à partir d'un ou de quelques outils numériques seulement. En particulier, le logiciel NOE (Numerical Orbit and Ephemerides) développé à l'IMCCE est désormais utilisé pour l'élaboration des éphémérides nouvelles et à venir. Toutefois, les méthodes analytiques restent encore utilisées lorsqu'une connaissance profonde de la dynamique du système est recherchée. Des méthodes hybrides tirant parti des points de vue analytique et numérique sont également utilisées.

La réalisation d'éphémérides se base sur l'ajustement d'un modèle dynamique du système étudié à des observations réalisées au sol ou depuis l'espace. Une éphéméride peut alors être construite par des méthodes d'interpolation ou d'approximation. Les paragraphes suivants décrivent chacune de ces étapes.

7.2. MODÈLE DYNAMIQUE

Le modèle dynamique comprend l'ensemble des perturbations physiques agissant sur le mouvement du(des) satellite(s) à l'étude. La force principale est l'attraction gravitationnelle de la planète.

Le corps central n'étant pas parfaitement sphérique, son potentiel gravitationnel est développé sous forme d'harmoniques sphériques :

$$U(r, \phi, \lambda) = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{R_E}{r} \right)^n \sum_{p=1}^n P_n^{(p)}(\sin \phi) [c_{np} \cos p\lambda + s_{np} \sin p\lambda] \right\} \quad (7.1)$$

où r, ϕ, λ désignent respectivement la distance, la latitude et la longitude du satellite rapportées à un repère équatorial centré sur la planète. De même, M et R_E désignent la masse et le rayon équatorial de la planète. On distingue généralement la famille des satellites proches de celle des satellites dits éloignés, suivant que la première harmonique du développement ci-dessus a un effet respectivement plus fort ou plus faible que celui induit par l'attraction du Soleil. En particulier, les satellites proches ont généralement leur plan d'orbite proche du plan de l'équateur, à la différence des satellites éloignés.

Les perturbations de moindre importance comprennent l'attraction gravitationnelle d'autres satellites, du Soleil et celle d'autres planètes. Des effets supplémentaires sont également nécessaires pour décrire avec précision la dynamique de certains systèmes satellitaires, comme l'introduction de la non-sphéricité des satellites, les effets relativistes et les effets de marées entre les satellites et la planète.

La résolution du système différentiel composé des équations du mouvement des satellites peut être obtenue de différentes manières. Si la tendance actuelle tire pleinement profit des intégrateurs numériques, les modèles plus anciens utilisent une résolution analytique basée sur une méthode d'approximations successives (théorie des perturbations). Plus récemment, des méthodes dites synthétiques tirent bénéfice des deux méthodes précédentes en intégrant analytiquement les termes à convergence rapide, et numériquement les termes à convergence plus lente, voire problématique (*cf.* 7.4).

7.3. AJUSTEMENT AUX OBSERVATIONS

La résolution des équations différentielles, gouvernant l'évolution des mouvements orbitaux des satellites, nécessite l'utilisation d'un certain nombre de constantes et conditions initiales du système. Les constantes correspondent en général aux valeurs des masses et coefficients caractérisant l'aplatissement des corps présents, l'orientation des pôles nord de rotation dans l'espace, etc. Les conditions initiales, elles, sont les positions et vitesses (ou leur équivalent sous forme d'éléments képlériens) à une date origine. Au départ, ces différentes valeurs sont affectées d'une erreur causant des différences importantes entre les positions prédites par le modèle et celles que l'on peut observer dans la réalité. Il est donc indispensable d'ajuster les conditions initiales et parfois les valeurs des paramètres physiques, en se servant des observations astrométriques. Principalement, la méthode

Table 7.1. Référence et précision globale estimée des éphémérides de satellites.

Satellite	Références	Précision (")	globale (km)
Phobos	(Lainey et al. 2007)	0.01	3
Deimos		0.01	3
Io	(Lainey et al. 2004)	0.02	60
Europe		0.02	60
Ganymède		0.02	60
Callisto		0.02	60
Mimas	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Encelade	(Vienne & Duriez 1995)	0.02	130
Téthys	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Dione	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Rhéa	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Titan	(Vienne & Duriez 1995)	0.015	100
Hypériorion	(Duriez & Vienne 1997)	0.03	200
Japet	(Vienne & Duriez 1995)	0.03	200
Ariel	(Lainey 2007)	0.10	120
Umbriel	(Arlot et al. 2006)	0.10	120
Titania		0.10	120
Obéron		0.10	120
Miranda		0.20	240

consiste à utiliser un développement linéaire au voisinage des valeurs de départ (ce qui suppose que celles-ci ne soient pas trop éloignées des valeurs réelles). Chaque observation à une date t fournissant une ou plusieurs coordonnées $\gamma(t)$ (par exemple l'ascension droite ou la déclinaison), on obtient alors une relation entre la différence de la coordonnée observée et celle calculée, et les variations à apporter aux valeurs de départ, comme l'indique l'équation ci-dessous :

$$\gamma(t)^{\text{observé}} - \gamma(t)^{\text{calculé}} \approx \sum_{i=1}^N \frac{\partial \gamma}{\partial c_i}(t) \Delta c_i, \tag{7.2}$$

où N désigne le nombre maximum de conditions initiales et de paramètres à ajuster (c_i). En règle général, le nombre d'observations dépassant largement le nombre de valeurs à ajuster, le système composé de l'ensemble des équations de la forme (7.2) est résolu par la méthode des moindres carrés. Quelques itérations par cette méthode sont nécessaires pour atteindre des valeurs optimales.

Notons que l'équation (7.2) suppose connues les valeurs des dérivées $\frac{\partial \gamma}{\partial c_i}(t)$ aux dates d'observations. Lorsque le modèle dynamique est intégré numériquement, un système différentiel, dit variationnel et dont les solutions sont précisément les termes $\frac{\partial \gamma}{\partial c_i}(t)$, est fréquemment intégré en même temps que les équations du mouvement. Dans le cas où le modèle repose sur une intégration

Table 7.2. Principaux termes dans la longitude moyenne de Io exprimés en sinus et dans la variable en excentricité-péricentre de Ganymède exprimé en exponentielle complexe (extrait de Lainey, Duriez, Vienne, 2006).

<i>Longitude moyenne de Io</i>				<i>Excentricité de Ganymède : $e_G \exp(\sqrt{-1}\varpi_G)$</i>			
Amplitude km	Période ans	Argument	Fréquence rad/an	Amplitude km	Période ans	Argument	Fréquence rad/an
81.3	1.27	$\nu + \varpi_2$	4.961862				
41.0	1.32	$\nu + \varpi_3$	4.760719	1529.9	135.2	ϖ_3	0.046487
37.9	5.64	Ψ	1.114249	825.5	536.5	ϖ_4	0.011711
23.3	1.33	$\nu + \varpi_4$	4.725944	634.4	1.3	ν	4.714232
17.6	1.10	$\nu + \varpi_1$	5.687351				
15.7	11.86	L_S	0.529648				

analytique, les solutions des équations du mouvement sont explicitement fonction des paramètres initiaux, de sorte que les dérivées partielles recherchées peuvent être obtenues par dérivation.

Ainsi, après cet ajustement aux observations, la théorie considérée est capable de fournir les éphémérides des corps correspondants. Leur précision, estimée à partir de la statistique des différences entre les positions observées et calculées, est donnée avec les références correspondantes dans la table 7.1.

Les éphémérides réalisées à partir du modèle numérique NOE sont notées *NOE - pla - an* où *pla* désigne le numéro de la planète considérée et *an* l'année de l'élaboration de l'éphéméride.

7.4. REPRÉSENTATION DES SOLUTIONS

L'intégration d'un modèle dynamique, après ajustement aux observations, peut donner directement les positions de chacun des corps, ou de façon équivalente, les valeurs des éléments d'orbites. Il s'agit souvent d'un simple relevé de positions pour des dates discrètes, ce qui n'est pas facilement exploitable. Par ailleurs, les dynamiciens souhaitent souvent effectuer des comparaisons entre les différents systèmes de satellites, comprendre les perturbations mises en jeu dans le système ou encore utiliser le modèle dans une autre étude théorique.

On est donc amené à représenter l'évolution temporelle de ces positions sous une forme analytique. C'est le cas des représentations du mouvement des quatre satellites galiléens de Jupiter et des huit principaux satellites de Saturne, qui ont la forme d'une théorie dite synthétique. C'est-à-dire qu'elles sont exprimées à l'aide de séries quasi-périodiques dont les arguments sont des

combinaisons linéaires entières d'arguments fondamentaux. Cette forme permet l'identification de toutes les perturbations significatives du système.

Une théorie synthétique se construit en trois étapes. Il faut d'abord définir un modèle physique et se donner un jeu de conditions initiales du système. La deuxième étape consiste à obtenir une solution (discrète) par intégration numérique des équations du mouvement. Enfin, la dernière phase est celle de l'analyse en fréquence qui permet d'écrire la solution sous une forme quasi-similaire aux théories analytiques.

Dans le cas du système de Saturne, la séparation entre le système différentiel à courte et à longue période a été faite analytiquement. La partie à courte période ne posant aucun problème, la partie à longue période de la solution est issue d'une intégration numérique. La forme quasi-périodique a ensuite été restituée grâce à une analyse en fréquence. Dans le système des satellites galiléens, la représentation possède une forme identique. Elle est entièrement synthétique puisqu'issue uniquement d'une intégration numérique des équations du mouvement. C'est encore une analyse harmonique qui a permis de retrouver la forme quasi-périodique et notamment de reconnaître les inégalités à courtes périodes, à longues périodes et le mode propre issu de la résonance laplacienne.

À titre d'exemple, nous donnons les principaux termes dans la longitude moyenne de Io et la variable en excentricité-péricentre de Ganymède (λ_I et $e_G \exp(\sqrt{-1}\varpi_G)$, table 7.2). Ces séries trigonométriques donnent pour chaque terme la combinaison entière correspondante des arguments fondamentaux du système. Nous notons par L_i la partie linéaire des longitudes moyennes des satellites et du Soleil, ϖ_i et Ω_i les modes propres des péricentres et des nœuds, ν la grande inégalité $L_1 - 2L_2$ ($= L_2 - 2L_3 + 180^\circ$) et Ψ l'argument de la libration de la résonance laplacienne (Lainey, Duriez, Vienne, 2006).

Enfin l'utilisateur des éphémérides n'est pas obligatoirement un mécanicien céleste. Il préfère alors une forme compacte des positions données. La solution retenue dans ce volume de la *Connaissance des Temps*, est d'utiliser une représentation à l'aide des polynômes de Tchebychev. Ce type de représentation est décrit en 8.4.2. Il a l'avantage d'être à la fois compact et d'utilisation facile.

7.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the uranian satellites occuring in 2006-2009, *Astron. Astrophys.*, **456**, 1173.
- Duriez L., Vienne A. : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.*, **324**, 366.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons, *Astron. Astrophys.*, **465**, 1075.
- Lainey, V., Duriez, V., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. I. Numerical integration of elaborated equations of motion, *Astron. Astrophys.*, **420**, 1171.
- Lainey, V., Duriez, L., Vienne, A. : 2006, Synthetic representation of the Galilean satellites' orbital motions from L1 ephemerides , *Astron. Astrophys.*, **456**, 783.
- Laskar, J., Jacobson, R.A. : 1987, GUST86 - an analytical ephemeris of the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **188**, 212.
- Laskar, J. : 1986, A general theory for the Uranian satellites, *Astron. Astrophys.*, **166**, 349.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.*, **297**, 588.

CHAPITRE 8

EXPLICATIONS LIÉES AUX ÉPHÉMÉRIDES DE LA CONNAISSANCE DES TEMPS

J.-L. SIMON, J. NORMAND ET M. BIRLAN

8.1. PRÉSENTATION DES ÉPHÉMÉRIDES

8.1.1. Introduction

À partir de l'édition 2006, les éphémérides de la *Connaissance des Temps* se présentent sous deux formes :

- les éphémérides publiées dans l'ouvrage annuel la *Connaissance des Temps*. Elles donnent les coordonnées des principaux corps du système solaire sous forme de tables de valeurs pour des dates données ;
- les éphémérides électroniques calculées à partir du logiciel présenté sur le CDROM qui accompagne l'ouvrage. Ce logiciel permet le calcul non seulement des coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi celui des coordonnées horizontales et des levers et couchers des astres.

Dans ce chapitre nous allons décrire ces deux types d'éphémérides et expliquer leur utilisation.

8.1.2. Définitions astronomiques

Comme il a été indiqué en 3.3.2 et 5.2.1.1, les coordonnées d'un astre sont rapportées à l'un des deux *plans fondamentaux*, les plans de l'*équateur* et de l'*écliptique*. Ces plans sont dits *moyens* lorsqu'ils ne sont affectés que de la précession ; le plan de l'équateur est dit *vrai* lorsqu'il est affecté de la précession et de la nutation. On appelle *équinoxe moyen* le nœud ascendant de l'écliptique

moyen sur l'équateur moyen et *équinoxe vrai* le nœud ascendant de l'écliptique moyen sur l'équateur vrai.

Les *coordonnées moyennes* sont rapportées aux plans fondamentaux moyens et comptées à partir de l'équinoxe moyen ; les *coordonnées vraies* sont rapportées à l'équateur vrai ou à l'écliptique moyen et comptées à partir de l'équinoxe vrai.

Les *coordonnées apparentes* d'un astre sont des coordonnées vraies de cet astre corrigées de l'aberration. Pour les corps du système solaire il s'agit de l'aberration planétaire : on tient compte, dans ce cas, du mouvement relatif de l'astre par rapport au barycentre du système solaire et des vitesses de rotation et de révolution de la Terre.

Les *coordonnées astrométriques* d'un corps du système solaire sont les coordonnées moyennes de ce corps corrigées de l'aberration dans laquelle on a omis l'aberration des fixes. On ne tient donc compte, dans ce cas, que du mouvement de l'astre par rapport au barycentre du système solaire. Conformément aux recommandations de l'Union Astronomique Internationale (1979) les coordonnées astrométriques ne sont plus affectées des termes constants de l'aberration des fixes, termes qui dépendent de l'orbite terrestre.

Les coordonnées apparentes sont rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date, les coordonnées moyennes et astrométriques sont rapportées à l'équateur (ou l'écliptique) et à l'équinoxe moyens de l'époque *standard* J2000 (jour julien 2 451 545.0).

8.1.3. Échelles de temps

Trois échelles de temps sont utilisées dans les tables de la *Connaissance des Temps* ou dans les éphémérides électroniques : le Temps terrestre TT (*cf.* 2.7.2), le Temps universel TU toujours sous sa forme UT1 (*cf.* 2.3) et le Temps universel coordonné UTC (*cf.* 2.5).

L'échelle de temps utilisée dans les théories des mouvements des corps du système solaire, sources des éphémérides, est le Temps dynamique barycentrique TDB (*cf.* 2.7.2). À la précision des éphémérides, on l'identifie à l'échelle TT. Les éphémérides de ces corps sont donc tabulées pour des dates en TT.

Le temps sidéral est une fonction à la fois du Temps universel TU et de TT. Nous l'avons calculé par la formule (3.6.25), en prenant $t - t_u = 65$ s. Notons qu'une erreur de 1 s sur $t - t_u$ entraîne une erreur inférieure à 0.2×10^{-6} s sur le temps sidéral pour l'année 2007. L'angle de rotation de la Terre donné par (3.6.17) et l'équation aux origines donnée par (5.41) sont des fonctions de TU. Ces trois quantités sont donc tabulées pour des dates en TU.

Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle s (*cf.* 5.4.2) sont des fonctions de TT et sont donc tabulées pour des dates en TT. L'équation des équinoxes (*cf.* 3.6.6.2) qui n'est donnée que sur le CDROM est une fonction de TT.

Enfin, les éphémérides électroniques peuvent être calculées en utilisant soit l'échelle de temps TT, soit l'échelle UTC. La table 8.1 donne la relation entre TT et UTC depuis le 1 juillet 1983, d'après la relation entre TAI et UTC (*cf.* 2.5.1) publiée par l'IERS (*International Earth rotation and Reference systems Service*).

Table 8.1. TT–UTC depuis le 1 juillet 1983.

			TT – UTC
1983	Juil. 1 – 1985	Juil. 1	54.184 s
1985	Juil. 1 – 1988	Jan. 1	55.184 s
1988	Jan. 1 – 1990	Jan. 1	56.184 s
1990	Jan. 1 – 1991	Jan. 1	57.184 s
1991	Jan. 1 – 1992	Juil. 1	58.184 s
1992	Juil. 1 – 1993	Juil. 1	59.184 s
1993	Juil. 1 – 1994	Juil. 1	60.184 s
1994	Juil. 1 – 1996	Jan. 1	61.184 s
1996	Jan. 1 – 1997	Juil. 1	62.184 s
1997	Juil. 1 – 1999	Jan. 1	63.184 s
1999	Jan. 1 – 2006	Jan. 1	64.184 s
2006	Jan. 1 – 2009	Jan. 1	65.184 s
2009	Jan. 1 –		66.184 s

8.1.4. Contenu de l'ouvrage

La *Connaissance des Temps* publie des tables donnant :

- Le temps sidéral vrai au méridien de Greenwich GST pour chaque jour de l'année à 0h TU, et les nutations en longitude $\Delta\psi$ et en obliquité $\Delta\epsilon$ pour chaque jour de l'année à 0h TT (p. II. 4 – II. 7).
- L'angle de rotation de la Terre ERA et l'équation des origines o pour chaque jour de l'année à 0h TU (p. II. 10 – II. 13).
- Les coordonnées du CIP X et Y et l'angle s pour chaque jour de l'année à 0h TT (p. II. 16 – II. 19).
- Les éphémérides géocentriques du Soleil, pour chaque jour de l'année à 0h TT :
 - les coordonnées écliptiques du Soleil, longitude, latitude et rayon vecteur géométrique ; la longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000 (p. II. 22 – II. 25) ;
 - les coordonnées équatoriales du Soleil, ascension droite et déclinaison ; ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date (p. II. 26 – II. 29) ;
 - le temps de passage du Soleil, en TT, au méridien des éphémérides, méridien situé à $-1.002\,7379$ (TT – TU) du méridien de Greenwich, les longitudes étant comptées positivement vers l'ouest. C'est aussi le temps de passage au méridien de Greenwich en TU (p. II. 26 – II. 29).
 - les coordonnées rectangulaires du Soleil X, Y, Z. Ce sont des coordonnées moyennes ; le plan OX, OY est le plan de l'équateur moyen J2000, l'axe OX est dirigé vers l'équinoxe moyen J2000 (p. II. 30 – II. 33).

- Les éphémérides géocentriques de la Lune, *toutes les six heures* (TT) (p. II. 36 – II. 52) :
 - les coordonnées équatoriales de la Lune, ascension droite et déclinaison. Ce sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date.
 - la distance à la Terre, sans correction d'aberration.
- Les éphémérides des planètes principales Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune :
 - les coordonnées héliocentriques, longitude, latitude héliocentriques et rayon vecteur. La longitude et la latitude sont des coordonnées moyennes rapportées à l'écliptique et à l'équinoxe moyens J2000. Ces coordonnées sont données à 0h TT, *chaque jour de l'année* pour Mercure (p. II. 54 – II. 57), *tous les deux jours* pour Vénus (p. II. 58 – II. 59), *tous les quatre jours* pour Mars (p. II. 60), *tous les seize jours* pour Jupiter et Saturne et *tous les trente-deux jours* pour Uranus et Neptune (p. II. 61).
 - les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre, *pour chaque jour de l'année* à 0h TT. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées apparentes rapportées à l'équateur et à l'équinoxe vrais de la date. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration (p. II. 62 – II. 89).
- Les éphémérides de Pluton et des petites planètes Cérès, Pallas, Junon et Vesta, *tous les quatre jours* à 0h TT (p. II. 92 – II. 96) :
 - les coordonnées géocentriques, ascension droite, déclinaison, distance à la Terre. L'ascension droite et la déclinaison sont des coordonnées astrométriques rapportées à l'équateur et à l'équinoxe moyens J2000. La distance à la Terre ne comporte pas de correction d'aberration.
- Les coordonnées différentielles tangentielles X et Y des satellites naturels, *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est* pour les satellites de Mars (p. II. 98 – II. 107) et *aux heures* (TT) *les plus proches des plus grandes elongations est et ouest* pour les satellites galiléens de Jupiter (p. II. 110 – II. 116), les huit premiers satellites de Saturne (p. II. 118 – II. 135) et les cinq premiers satellites d'Uranus (p. II. 138 – II. 148).

Les coordonnées différentielles tangentielles des satellites par rapport au centre de la planète, sont, au premier ordre :

$$X = \Delta\alpha \cos \delta, \quad Y = \Delta\delta,$$

où δ est la déclinaison de la planète et où $\Delta\alpha$ et $\Delta\delta$ sont les différences en ascension droite et en déclinaison entre le satellite et le centre de la planète. Ce sont des coordonnées moyennes astrométriques rapportées à l'équateur J2000 pour tous les satellites. L'axe des Y est dirigé vers le pôle de l'équateur moyen des coordonnées (nord) et l'axe des X est orienté dans le sens des ascensions droites croissantes (est).

Notons que l'approximation du premier ordre n'est pas suffisante lorsque le satellite s'éloigne beaucoup de la planète comme, par exemple, Callisto. On se reportera, à ce sujet, au paragraphe 4.3.3 de l'ouvrage *Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997).

- Un *calendrier* est publié p. II. 150 – II. 151. Il contient : D, le numéro du jour de chaque mois ; JOUR, le nom du jour de la semaine ; JJ, la date julienne à 12h ; JDA, le numéro du jour de l'année.

8.1.5. Contenu du CDROM

Le CDROM contient un logiciel interactif qui permet de calculer toutes les coordonnées publiées dans la *Connaissance des Temps* autres que le Temps sidéral, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines, pour n'importe quelle date TT ou UTC de l'année. Le Temps sidéral ainsi que l'équation des équinoxes, l'angle de rotation de la Terre et l'équation des origines sont calculés pour n'importe quelle date UTC de l'année. Il permet aussi de calculer les *coordonnées horizontales* azimut et hauteur et les *levers et couchers* et *passages au méridien* des astres en des lieux terrestres de longitude et latitude quelconques.

Le logiciel de calcul utilise une représentation des coordonnées sous une forme polynomiale analogue à celle en usage dans les éditions de la *Connaissance des Temps* antérieures à l'édition 2006. Cette représentation est décrite en 8.4.2.

Enfin, on trouve sur le CDROM, les prédictions des *phénomènes* des satellites galiléens.

8.2. SOURCES DES ÉPHÉMÉRIDES

8.2.1. Soleil, Lune, Planètes et Pluton

À partir de l'édition 2007, les éphémérides du Soleil, de la Lune, des planètes et de la planète naine Pluton (résolution B6 de l'UAI, 2006), publiées dans la *Connaissance des Temps*, sont issues de la solution INPOP06 (Fienga et al., 2008) élaborée à l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides. Cette solution est présentée dans le chapitre 6.

8.2.2. Cérès et petits corps

Les éphémérides de la planète naine Cérès et des petits corps Pallas, Junon et Vesta sont issues d'une intégration numérique effectuée à l'IMCCE (Rocher, 1984).

8.2.3. Satellites

Les théories utilisées pour la construction des éphémérides sont les suivantes :

- satellites de Mars : le modèle numérique NOE-4-06 (Lainey et al, 2007) ;
- satellites galiléens : la théorie L1 (Lainey et al, 2004) ;
- huit premiers satellites de Saturne : la théorie TASS1.6 (Vienne et Duriez, 1995) pour Mimas, Encelade, Téthys, Dioné, Rhéa, Titan et Japet ; la théorie de Duriez et Vienne (1997) pour Hypériorion.
- cinq premiers satellites d'Uranus : la théorie LA07 (Lainey, 2007, Arlot et al, 2007).

8.3. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES TABULÉES

Les éphémérides de précision de la *Connaissance des Temps* sont maintenant les éphémérides électroniques qui accompagnent l'ouvrage. Les éphémérides tabulées ont surtout pour but de s'assurer du bon usage du logiciel ou de connaître l'allure des variations. Néanmoins, les intervalles de tabulation choisis permettent une interpolation précise pour les éphémérides du Soleil, de la Lune et des planètes ainsi que pour le Temps sidéral, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s .

8.3.1. Interpolation par la formule de Bessel

Désignons par t_0, t_1, t_2, \dots les instants d'évaluation d'une fonction $f(t)$ décrite dans la *Connaissance des Temps* et par f_0, f_1, f_2, \dots les valeurs correspondantes de f . Notons h le pas de tabulation, $h = t_{k+1} - t_k$, constant quel que soit k . Soient $\Delta^{(1)}, \Delta^{(2)}, \Delta^{(3)}, \dots$, les différences premières, secondes, troisièmes, \dots ; elles valent :

$$\begin{aligned} \Delta_k^{(1)} &= f_{k+1} - f_k \\ \Delta_k^{(2)} &= \Delta_{k+1}^{(1)} - \Delta_k^{(1)} \\ \Delta_k^{(3)} &= \Delta_{k+1}^{(2)} - \Delta_k^{(2)} \\ \dots & \dots \dots \end{aligned} \quad \{k = 0, 1, 2, \dots\}$$

Formons le tableau des différences :

t_0	f_0			
		$\Delta_0^{(1)}$		
t_1	f_1		$\Delta_0^{(2)}$	
		$\Delta_1^{(1)}$		$\Delta_0^{(3)}$
t_2	f_2		$\Delta_1^{(2)}$	
		$\Delta_2^{(1)}$		
t_3	f_3			
\dots	\dots			

(8.3.1)

Soit à calculer $f(t)$ où t est compris entre t_1 et t_2 . Posons $m = \frac{t - t_1}{h}$.

La formule de Bessel s'écrit, en se limitant aux différences troisièmes :

$$f(t) = f_1 + m\Delta_1^{(1)} - \frac{m(1-m)}{4}(\Delta_0^{(2)} + \Delta_1^{(2)}) + \frac{m(1-m)(1-2m)}{12}\Delta_0^{(3)}. \tag{8.3.2}$$

8.3.2. Exemple

Calculer les coordonnées équatoriales apparentes de la Lune pour le 20 janvier 2009 à 8h 28m TT.

Formons les tableaux des différences, à partir des valeurs données page II. 36. Nous obtenons, pour les ascensions droites α et les déclinaisons δ :

20/01	α	Δ^1 (s)	Δ^2 (s)	Δ^3 (s)	δ	Δ^1 (")	Δ^2 (")	Δ^3 (")
0h	15h 09m 23.531s				$-23^\circ 03' 25.64''$			
		760.387				-2606.91		
6h	15h 22m 03.918s		5.680		$-23^\circ 46' 52.55''$		242.41	
		766.067		-0.233		-2364.50		6.73
12h	15h 34m 49.985s		5.441		$-24^\circ 26' 17.05''$		249.14	
		771.514				-2115.36		
18h	15h 47m 41.499s				$-25^\circ 01' 32.41''$			

On a $t_1 = 6h$, le pas de tabulation h est de 6 heures, soit 360 minutes ; la valeur de m est donc $m = 148/360 = 0.411\ 111\ 11$. L'application de la formule (8.3.2) au calcul de $\alpha(t)$ et $\delta(t)$, pour la date t indiquée, donne :

$$\alpha(t) = 15h\ 22m\ 03.918s + 314.939s - 0.673s - 0.001s = 15h\ 27m\ 18.183s$$

$$\delta(t) = -23^\circ\ 46'\ 52.55'' - 972.07'' - 29.75'' + 0.02'' = -24^\circ\ 03'\ 34.35''$$

Les valeurs données par les éphémérides électroniques sont :

$$\alpha(t) = 15h\ 27m\ 18.180s$$

$$\delta(t) = -24^\circ\ 03'\ 34.34''$$

8.3.3. Utilisation de la formule de Bessel

L'utilisation de la formule de Bessel développée jusqu'aux différences troisièmes est nécessaire pour le calcul des éphémérides de la Lune et des éphémérides géocentriques de Mercure. Pour les autres coordonnées tabulées dans la *Connaissance des Temps* on peut se contenter de la formule bornée aux différences secondes et parfois même, de l'interpolation linéaire. On trouvera de plus amples informations sur l'application de la formule de Bessel aux éphémérides tabulées au paragraphe 9.1 de l'*Introduction aux éphémérides astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans l'explication et usage de la *Connaissance des Temps* 1979 (Bureau des longitudes, 1978).

8.4. UTILISATION DES ÉPHÉMÉRIDES ÉLECTRONIQUES

8.4.1. Le logiciel de calcul eCDT

On trouvera sur le CDROM une documentation complète sur le logiciel de calcul et son utilisation. Nous en donnons ici un bref résumé.

8.4.1.1. Description de l'interface graphique

• Coordonnées locales

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet d'indiquer les coordonnées du lieu d'observation :

- longitude en degrés, minutes et secondes,
- latitude en degrés, minutes et secondes,
- altitude en mètres.

Ces coordonnées ne sont nécessaires que dans le cas des calculs de l'azimut, la hauteur, le lever, le coucher ou le passage au méridien d'un astre.

• Période de calcul

Cette partie de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet d'indiquer :

- la date de début des calculs,
- la date de fin des calculs,
- l'échelle de temps à utiliser,
- le pas de calcul.

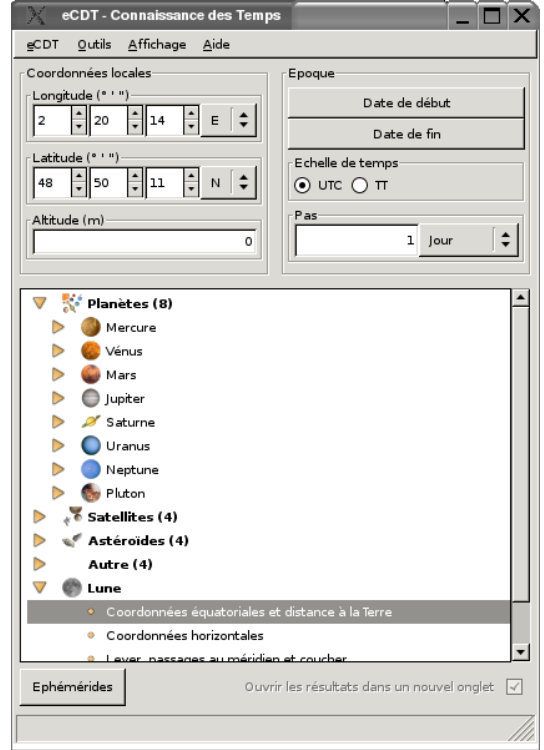


Fig. 8.1. Fenêtre principale.

Pour saisir les dates de début et de fin, il faut cliquer sur les boutons *Date de début* et *Date de fin*. Ces instants peuvent être saisis sous forme de date et heure ou sous forme de jours juliens. Il faut, pour cela, activer la zone de saisie correspondante (cf. fig. 8.2).

• Liste des éphémérides disponibles

La partie du bas de la fenêtre principale (cf. fig. 8.1) permet de choisir les éphémérides à calculer. Elles sont présentées sous la forme d'une arborescence. Pour la déployer il faut cliquer deux fois sur les titres. Il est possible de choisir plusieurs éphémérides simultanément en maintenant la touche *Ctrl* enfoncée.

• Lancement des calculs

Le bouton *Ephémérides* (cf. fig. 8.1) permet d'obtenir les éphémérides choisies précédemment.

8.4.1.2. Utilisation simple du logiciel

On utilise le logiciel de calcul d'éphémérides en effectuant les étapes suivantes :

- saisie des coordonnées du lieu d'observation si nécessaire,
- saisie des paramètres "Epoque de calcul",
- choix des éphémérides à calculer,
- lancement des calculs.

8.4.1.3. Autres possibilités

Outre le simple calcul d'éphémérides, le logiciel propose :

- une visualisation des coefficients utilisés pour représenter les coordonnées (cf. 8.4.2),
- les prédictions des phénomènes des satellites galiléens,
- un convertisseur jour julien / date du calendrier (grégorien après le 15/10/1582 0h, julien avant cette date),
- un gestionnaire de lieux (permettant de choisir les coordonnées locales dans une liste).

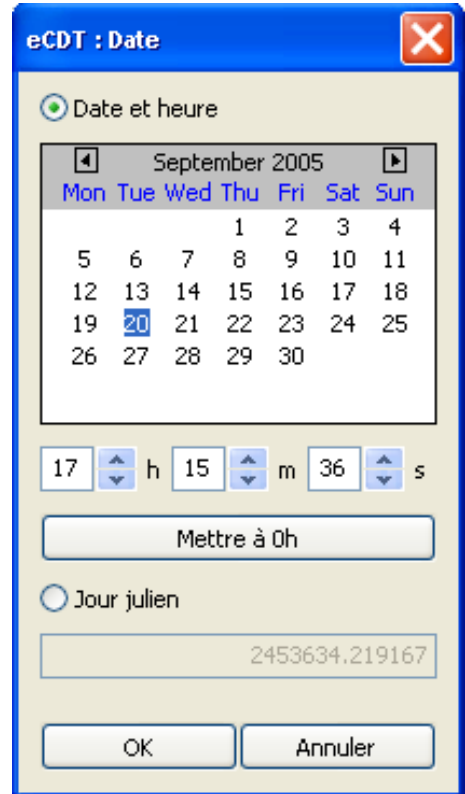


Fig. 8.2. Fenêtre pour choisir la date.

8.4.1.4. Disponibilité du logiciel

Actuellement le logiciel est disponible pour le système d'opération Microsoft Windows XP. Pour toute information complémentaire, consulter le site web de l'IMCCE à l'adresse : <http://www.imcce.fr/page.php?nav=fr/publications/logiciels/ecdt/>.

8.4.2. Représentation des coordonnées

L'angle de rotation de la Terre est calculé à partir de la formule (3.6.17). Les autres coordonnées données sur le CDROM sont représentées sous formes de polynômes de Tchebychev. La représentation sous forme de polynômes de Tchebychev est utilisée pour les coordonnées du Soleil, de la Lune, des planètes, des planètes naines, des petits corps ainsi que pour le Temps sidéral, l'équation aux équinoxes, les nutations, l'angle de rotation de la Terre, l'équation des origines, les coordonnées du CIP et l'angle s . Il est possible de visualiser et d'utiliser soi-même les coefficients et il est donc utile de rappeler les caractéristiques de cette représentation.

Soient t une date julienne appartenant à l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ et y une coordonnée d'un astre. On calcule $y(t)$ par la formule :

$$y = a_0 + a_1 T_1(x) + \dots + a_n T_n(x), \quad (8.4.1)$$

où :

- x est un paramètre compris entre -1 et $+1$ qui se déduit de t par la relation :

$$x = -1 + 2(t - t_0)/DT ; \quad (8.4.2)$$

- a_0, a_1, \dots, a_n sont les coefficients numériques publiés dans la *Connaissance des Temps*, valables pour l'intervalle de temps $t_0, t_0 + DT$ contenant t ;
- $T_1(x), \dots, T_n(x)$ sont des polynômes de Tchebychev, en x , que l'on calcule :

– soit par la relation :

$$T_p(x) = \cos(p \arccos x) ; \quad (8.4.3)$$

– soit par la relation de récurrence :

$$T_{p+1}(x) = 2xT_p(x) - T_{p-1}(x) \quad (8.4.4)$$

avec : $T_0(x) = 1$; $T_1(x) = x$.

La précision des approximations en polynômes de Tchebychev données sur le CDROM est très grande, bien meilleure que celle des éditions antérieures de la *Connaissance des Temps*. Notons toutefois que la déviation relativiste des rayons lumineux dans le champ gravitationnel du Soleil n'est pas prise en compte dans le calcul des coordonnées apparentes des planètes, les variations angulaires produites par ce phénomène étant difficilement représentables dans une éphéméride Tchebychev. La valeur de cette déviation peut être dans certains cas de l'ordre de la seconde de degré. Nous donnons, dans les tables 8.2 et 8.3, les caractéristiques des approximations en polynômes de Tchebychev avec les précisions de représentation.

8.5. PRÉCISION DES ÉPHÉMÉRIDES

Pour juger de la précision globale d'une éphéméride, il faut distinguer plusieurs composantes :

a) *La précision interne* de la théorie. Elle rend compte à la fois de la précision numérique des calculs effectués pour élaborer la théorie et de la perfection du modèle physique introduit, les constantes physiques du problème (constantes d'intégration, masses, etc.) étant supposées parfaitement connues.

b) *La précision externe*. Elle représente essentiellement ce qui, dans l'écart entre la théorie et l'observation, est dû aux erreurs sur les constantes physiques et sur la définition du repère dans lequel les coordonnées sont mesurées. Cette précision est directement liée à la précision avec laquelle ont été effectuées les observations ayant servi à déterminer les constantes physiques du problème.

Table 8.2. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev données sur le CDROM.

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
	Temps sidéral	19	16	1.7×10^{-5} s
	Équation des équinoxes	19	16	2×10^{-8} s
	Nutations	19	16	3×10^{-7} ''
	Équation des origines	10	5	5×10^{-7} ''
	Coordonnées du CIP	10	5	2×10^{-7} ''
	s	10	5	2×10^{-10} ''
Soleil	Longitude	15	16	6×10^{-10} degré
	Latitude	15	16	4×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	16	4×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Temps de passage	15	16	1×10^{-3} ''
	Coordonnées rectangulaires	15	16	1×10^{-11} ua
Lune	Ascension droite	9	2	2×10^{-6} s
	Déclinaison	9	2	2×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	9	2	2×10^{-5} km
Mercure	Longitude	15	16	3×10^{-9} degré
	Latitude	15	16	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	16	2×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	6×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	5×10^{-5} ''
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Vénus	Longitude	15	46	7×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	3×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	8×10^{-12} ua
Mars	Longitude	15	46	2×10^{-10} degré
	Latitude	15	46	4×10^{-12} degré
	Rayon vecteur	15	46	1×10^{-12} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	1×10^{-11} ua
Jupiter	Longitude	15	92	2×10^{-9} degré
	Latitude	15	92	1×10^{-11} degré
	Rayon vecteur	15	92	5×10^{-11} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	8×10^{-6} ''
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-11} ua

Table 8.2. (fin).

Astre	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Saturne	Longitude	15	92	2×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	2×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-9} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	7×10^{-6} "
	Distance à la Terre	15	16	2×10^{-10} ua
Uranus	Longitude	15	92	3×10^{-8} degré
	Latitude	15	92	5×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	2×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	3×10^{-6} s
	Déclinaison	15	16	2×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	6×10^{-9} ua
Neptune	Longitude	15	92	2×10^{-7} degré
	Latitude	15	92	6×10^{-10} degré
	Rayon vecteur	15	92	8×10^{-8} ua
	Ascension droite	15	16	2×10^{-5} s
	Déclinaison	15	16	6×10^{-5} "
	Distance à la Terre	15	16	3×10^{-8} ua
Pluton	Ascension droite	10	31	3×10^{-5} s
	Déclinaison	10	31	8×10^{-5} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua
Petites planètes	Ascension droite	10	31	4×10^{-4} s
	Déclinaison	10	31	3×10^{-3} "
	Distance à la Terre	10	31	5×10^{-8} ua

c) *La précision de la représentation.* Elle traduit l'écart entre la théorie et son approximation soit en polynômes de Tchebychev (cas des planètes, du Soleil et de la Lune), soit en fonctions mixtes (cas des satellites des planètes). Elle est déterminée par le choix de la représentation.

La précision globale de l'éphéméride est la somme de ces trois composantes. Comme le montre la table 8.2, la précision de représentation est très grande pour le Soleil, la Lune et les planètes. La précision globale est du même ordre que la précision interne dans le cas de la Lune ; elle est du même ordre que la précision externe pour tous les autres corps.

La table 8.4 donne une estimation de la précision globale pour les corps dont on publie les éphémérides.

On trouvera des explications détaillées sur ces différentes précisions dans le volume *Introduction aux Éphémérides Astronomiques* (Bureau des longitudes, 1997) et dans Standish (1985).

Table 8.3. Caractéristiques des représentations en polynômes de Tchebychev pour les satellites, données sur le CDROM.

Satellite	Coordonnées	Nombre de coefficients	Intervalle DT (jours)	Précision de la représentation
Phobos	Différentielles tangentielles (X, Y)	472	16	4.85×10^{-8} rad
Déimos	"	162	16	4.85×10^{-8} "
Io	Différentielles tangentielles (X, Y)	88	16	9.70×10^{-8} rad
Europe	"	24	4	9.70×10^{-8} "
Ganymède	"	16	4	9.70×10^{-8} "
Callisto	"	11	4	9.70×10^{-8} "
Mimas	Différentielles tangentielles (X, Y)	164	16	9.70×10^{-8} rad
Encelade	"	878	184	9.70×10^{-8} "
Théthys	"	224	64	7.27×10^{-8} "
Dioné	"	45	16	7.27×10^{-8} "
Rhéa	"	113	64	7.27×10^{-8} "
Titan	"	79	96	7.27×10^{-8} "
Hypérion	"	19	16	1.35×10^{-7} "
Japet	"	103	64	1.35×10^{-7} "
Miranda	Différentielles tangentielles (X, Y)	162	16	4.85×10^{-7} rad
Ariel	"	50	8	4.85×10^{-7} "
Umbriel	"	110	27	4.85×10^{-7} "
Titania	"	160	90	4.85×10^{-7} "
Obéron	"	40	16	9.70×10^{-7} "

Table 8.4. Précision globale des éphémérides de la Connaissance des Temps.

Astre	Précision globale
Soleil	0''.05
Lune	0''.03
Mercure	0''.06
Vénus	0''.03
Mars	0''.03
Jupiter	0''.2
Saturne	0''.3
Uranus	0''.6
Neptune	0''.8
Pluton et petites planètes	2''
Satellites de Mars	0''.01
Satellites galiléens de Jupiter	0''.02
Satellites de Saturne	de 0''.015 à 0''.03
Satellites d'Uranus	de 0''.1 à 0''.2

8.6. BIBLIOGRAPHIE

- Arlot, J.-E. : 1982, New constants for Sampson-Lieske theory of the Galilean satellites of Jupiter, *Astron. Astrophys.* **107**, 305.
- Arlot, J.-E., Lainey, V., Thuillot, W. : 2006, Predictions of the mutual events of the Uranian satellites occurring in 2006-2009 *Astron. Astrophys.* **456**, 1173.
- Bureau des longitudes : 1978, *Connaissance des Temps* pour l'an 1979, Gauthier-Villars éd., Paris.
- Bureau des longitudes : 1997, *Introduction aux éphémérides astronomiques (supplément explicatif à la Connaissance des Temps)*. Simon, J.-L., Chapront-Touzé, M., Morando, B., Thuillot, W. édés, EDP Sciences, Les Ulis.
- Duriez, L. , Vienne, A., : 1997, Theory of motion and ephemerides of Hyperion, *Astron. Astrophys.* **324**, 366.
- Fienga, A., Manche, H., Laskar, J., Gastineau, M. : 2008, INPOP06 : a new numerical planetary ephemeris. *Astron. Astrophys.* **477**, 315.
- Lainey, V., Arlot, J.-E., Vienne, A. : 2004, New accurate ephemerides for the Galilean satellites of Jupiter. II. Fitting the observations *Astron. Astrophys.* **427**, 371.
- Lainey, V., Dehant, V., Pätzold, M. : 2007, First numerical ephemerides of the Martian moons *Astron. Astrophys.* **465**, 1075.
- Lainey, V. : 2008, A new dynamical model for the Uranian satellites, *P&SS* **56**, 1766.
- Rocher, P. : 1990, communication privée.
- Sampson, R.A. : 1921, Theory of the four great satellites of Jupiter, *Mem. Roy. Astron. Soc.* **63**.
- Standish, E.M. : 1985, Relativity in Celestial Mechanics and Astrometry, J. Kovalevsky and V.A. Brumberg eds. (Reidel, Dordrecht, Holland), 71.
- Standish, E.M. : 1998, JPL planetary and lunar ephemerides, DE405/LE405, *JPLIOM* **312.F**.
- Vienne, A., Duriez, L. : 1995, TASS1.6 : Ephemerides of the major Saturnian satellites, *Astron. Astrophys.* **297**, 588.

ÉPHÉMÉRIDES POUR L'ANNÉE 2009

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION

Temps sidéral <i>GST</i>	II. 4
Nutation en longitude $\Delta\psi$, nutation en obliquité $\Delta\epsilon$	II. 4

TEMPS SIDÉRAL 2009 à 0h TU, NUTATION 2009 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	s	s		h	m	s	s	s	s	
Janv.	0	6	39	10.583 81	13.386 91	5.543 97		Févr.	15	9	40	32.194 54	14.430 21	6.006 41	
	1	6	43	7.139 40	13.390 62	5.586 67			16	9	44	28.748 82	14.412 45	5.971 54	
	2	6	47	3.692 79	13.358 31	5.618 80			17	9	48	25.305 48	14.433 48	5.942 47	
	3	6	51	0.244 74	13.302 41	5.633 78			18	9	52	21.863 94	14.484 14	5.925 48	
	4	6	54	56.796 40	13.241 79	5.627 38			19	9	56	18.423 45	14.551 74	5.924 52	
	5	6	58	53.349 21	13.199 96	5.599 04			20	10	0	14.983 10	14.621 75	5.941 08	
	6	7	2	49.904 67	13.201 41	5.553 01			21	10	4	11.541 98	14.679 29	5.974 26	
	7	7	6	46.463 98	13.265 83	5.498 92			22	10	8	8.099 26	14.710 58	6.020 74	
	8	7	10	43.027 59	13.400 60	5.450 72			23	10	12	4.654 27	14.704 79	6.074 94	
	9	7	14	39.594 80	13.594 14	5.423 48			24	10	16	1.206 66	14.656 03	6.129 49	
	10	7	18	36.163 66	13.814 72	5.428 01			25	10	19	57.756 48	14.565 39	6.176 07	
	11	7	22	32.731 50	14.018 64	5.465 82			26	10	23	54.304 31	14.442 11	6.206 85	
	12	7	26	29.295 89	14.166 13	5.527 53			27	10	27	50.851 18	14.303 26	6.216 19	
	13	7	30	25.855 55	14.236 39	5.596 55			28	10	31	47.398 48	14.171 36	6.202 21	
14	7	34	22.410 72	14.233 18	5.655 84		Mars	1	10	35	43.947 66	14.070 09	6.167 87		
15	7	38	18.962 77	14.179 08	5.693 72		2	10	39	40.499 89	14.018 88	6.120 84			
16	7	42	15.513 56	14.104 26	5.706 19		3	10	43	37.055 80	14.027 66	6.072 36			
17	7	46	12.064 79	14.036 46	5.695 88		4	10	47	33.615 18	14.093 24	6.034 81			
18	7	50	8.617 66	13.995 62	5.669 55		5	10	51	30.176 99	14.198 50	6.018 79			
19	7	54	5.172 83	13.992 45	5.635 64		6	10	55	26.739 49	14.315 04	6.030 11			
20	7	58	1.730 46	14.029 33	5.602 53		7	10	59	23.300 64	14.409 64	6.067 64			
21	8	1	58.290 27	14.101 94	5.577 47		8	11	3	19.858 67	14.453 18	6.122 94			
22	8	5	54.851 69	14.200 94	5.566 00		9	11	7	16.412 59	14.429 56	6.182 28			
23	8	9	51.413 94	14.313 40	5.571 54		10	11	11	12.962 53	14.340 96	6.230 69			
24	8	13	47.976 10	14.424 39	5.595 14		11	11	15	9.509 68	14.206 60	6.256 67			
25	8	17	44.537 23	14.518 68	5.635 25		12	11	19	6.055 81	14.055 56	6.255 37			
26	8	21	41.096 52	14.582 76	5.687 80		13	11	23	2.602 70	13.917 02	6.229 16			
27	8	25	37.653 37	14.607 03	5.746 53		14	11	26	59.151 68	13.812 44	6.185 75			
28	8	29	34.207 56	14.587 89	5.803 72		15	11	30	55.703 36	13.752 13	6.135 17			
29	8	33	30.759 33	14.529 04	5.851 34		16	11	34	52.257 72	13.735 69	6.087 13			
30	8	37	27.309 36	14.441 85	5.882 39		17	11	38	48.814 27	13.754 89	6.049 30			
Févr.	31	8	41	23.858 76	14.344 33	5.892 36		18	11	42	45.372 20	13.796 79	6.026 64		
	1	8	45	20.408 90	14.258 71	5.880 36		19	11	46	41.930 60	13.846 43	6.021 33		
	2	8	49	16.961 15	14.207 77	5.849 93		20	11	50	38.488 56	13.888 72	6.032 97		
	3	8	53	13.516 67	14.210 18	5.809 11		21	11	54	35.045 21	13.909 82	6.058 84		
	4	8	57	10.076 02	14.275 25	5.769 52		22	11	58	31.599 88	13.898 41	6.094 12		
	5	9	1	6.638 91	14.398 26	5.744 25		23	12	2	28.152 11	13.847 18	6.132 16		
	6	9	5	3.204 07	14.558 32	5.744 44		24	12	6	24.701 82	13.754 61	6.165 03		
	7	9	8	59.769 40	14.721 22	5.775 27		25	12	10	21.249 36	13.626 67	6.184 51		
	8	9	12	56.332 55	14.848 42	5.833 15		26	12	14	17.795 62	13.477 73	6.183 65		
	9	9	16	52.891 69	14.910 16	5.905 87		27	12	18	14.341 92	13.329 52	6.158 72		
	10	9	20	49.446 20	14.896 28	5.976 66		28	12	22	10.889 82	13.207 39	6.110 92		
	11	9	24	45.996 83	14.818 81	6.030 28		29	12	26	7.440 71	13.134 17	6.047 06		
	12	9	28	42.545 25	14.705 21	6.057 95		30	12	30	3.995 41	13.123 24	5.978 57		
	13	9	32	39.093 39	14.586 98	6.058 89		31	12	34	0.553 86	13.173 47	5.918 74		
14	9	36	35.642 83	14.490 09	6.038 72		Avril	1	12	37	57.115 03	13.268 35	5.879 11		

TEMPS SIDÉRAL 2009 à 0h TU, NUTATION 2009 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s			
	h	m	s				h	m	s					
Avril	2	12	41	53.677 21	13.379 81	5.866 18	Mai	18	15	43	15.208 73	13.128 18	5.001 81	
	3	12	45	50.238 44	13.475 55	5.879 52		19	15	47	11.759 55	13.053 82	5.000 67	
	4	12	49	46.796 98	13.527 48	5.911 94		20	15	51	8.309 52	12.965 59	4.980 00	
	5	12	53	43.351 82	13.518 91	5.951 43		21	15	55	4.859 95	12.884 85	4.936 72	
	6	12	57	39.902 88	13.448 48	5.984 41		22	15	59	1.412 39	12.836 90	4.872 26	
	7	13	1	36.450 99	13.329 89	5.999 31		23	16	2	57.968 29	12.845 50	4.793 77	
	8	13	5	32.997 64	13.187 42	5.989 48		24	16	6	54.528 50	12.924 60	4.713 92	
	9	13	9	29.544 53	13.048 84	5.954 47		25	16	10	51.092 79	13.070 43	4.647 98	
	10	13	13	26.093 13	12.938 12	5.899 51		26	16	14	47.659 68	13.258 83	4.608 77	
	11	13	17	22.644 35	12.870 26	5.833 52		27	16	18	44.226 83	13.451 48	4.601 49	
	12	13	21	19.198 44	12.849 41	5.766 48		28	16	22	40.791 83	13.609 08	4.621 58	
	13	13	25	15.755 08	12.870 17	5.707 24		29	16	26	37.353 06	13.704 85	4.656 71	
	14	13	29	12.313 53	12.920 44	5.662 12		30	16	30	33.910 05	13.731 45	4.691 64	
	15	13	33	8.872 83	12.984 83	5.634 39		31	16	34	30.463 49	13.699 93	4.713 15	
	16	13	37	5.432 02	13.047 35	5.624 39		Juin	1	16	38	27.014 77	13.633 17	4.713 15
	17	13	41	1.990 21	13.093 43	5.629 91		2	16	42	23.565 55	13.558 09	4.689 51	
18	13	44	58.546 66	13.111 22	5.646 66	3	16	46	20.117 31	13.499 20	4.645 38			
19	13	48	55.100 90	13.092 68	5.668 64	4	16	50	16.671 16	13.474 35	4.587 55			
20	13	52	51.652 72	13.034 72	5.688 60	5	16	54	13.227 66	13.492 76	4.524 66			
21	13	56	48.202 32	12.940 52	5.698 71	6	16	58	9.786 82	13.554 79	4.465 47			
22	14	0	44.750 37	12.820 80	5.691 59	7	17	2	6.348 20	13.653 07	4.417 44			
23	14	4	41.297 98	12.694 11	5.661 87	8	17	6	2.911 01	13.774 65	4.385 70			
24	14	8	37.846 69	12.585 11	5.608 24	9	17	9	59.474 26	13.903 60	4.372 50			
25	14	12	34.398 06	12.519 72	5.535 00	10	17	13	56.036 97	14.023 69	4.377 15			
26	14	16	30.953 29	12.517 50	5.452 39	11	17	17	52.598 28	14.120 78	4.396 37			
27	14	20	27.512 71	12.583 71	5.374 55	12	17	21	49.157 55	14.184 61	4.424 90			
28	14	24	24.075 51	12.705 20	5.315 36	13	17	25	45.714 46	14.209 91	4.456 18			
29	14	28	20.639 93	12.853 07	5.283 85	14	17	29	42.269 05	14.197 12	4.483 16			
30	14	32	17.203 76	12.991 48	5.281 17	15	17	33	38.821 69	14.152 66	4.499 02			
Mai	1	14	36	13.765 07	13.088 74	5.300 56	16	17	37	35.373 17	14.089 02	4.498 05		
2	14	40	10.322 71	13.125 87	5.329 91	17	17	41	31.924 58	14.024 30	4.476 65			
3	14	44	6.876 50	13.100 19	5.355 58	18	17	45	28.477 29	13.980 89	4.434 56			
4	14	48	3.427 20	13.023 90	5.365 97	19	17	49	25.032 74	13.982 13	4.376 07			
5	14	51	59.976 17	12.919 26	5.354 02	20	17	53	21.592 06	14.046 67	4.310 69			
6	14	55	56.525 00	12.812 37	5.318 17	21	17	57	18.155 63	14.180 78	4.252 10			
7	14	59	53.075 15	12.727 08	5.262 05	22	18	1	14.722 68	14.371 77	4.214 86			
8	15	3	49.627 66	12.680 35	5.193 08	23	18	5	11.291 24	14.587 39	4.208 98			
9	15	7	46.183 00	12.679 77	5.120 51	24	18	9	7.858 68	14.784 76	4.235 15			
10	15	11	42.741 04	12.723 40	5.053 38	25	18	13	4.422 68	14.926 05	4.283 68			
11	15	15	39.301 18	12.801 49	4.998 91	26	18	17	0.982 12	14.992 53	4.338 31			
12	15	19	35.862 54	12.899 41	4.961 54	27	18	20	57.537 26	14.988 98	4.382 71			
13	15	23	32.424 10	13.000 67	4.942 60	28	18	24	54.089 51	14.937 95	4.405 76			
14	15	27	28.984 91	13.089 60	4.940 57	29	18	28	50.640 68	14.869 27	4.403 69			
15	15	31	25.544 17	13.153 25	4.951 59	30	18	32	47.192 46	14.810 66	4.379 17			
16	15	35	22.101 33	13.182 66	4.970 07	Juill.	1	18	36	43.746 09	14.782 30	4.339 14		
17	15	39	18.656 16	13.173 78	4.989 24	2	18	40	40.302 23	14.794 86	4.292 45			

TEMPS SIDÉRAL 2009 à 0h TU, NUTATION 2009 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s	Date	temps sidéral			nut. long. s	nut. obl. s			
	h	m	s				h	m	s					
Juill.	3	18	44	36.860 97	14.849 92	4.247 97	Août	18	21	45	58.490 22	16.195 99	4.601 65	
	4	18	48	33.421 94	14.941 46	4.213 28		19	21	49	55.050 09	16.269 53	4.666 92	
	5	18	52	29.984 43	15.057 94	4.193 84		20	21	53	51.605 47	16.269 76	4.736 81	
	6	18	56	26.547 54	15.184 42	4.192 47		21	21	57	48.156 50	16.199 01	4.794 11	
	7	19	0	23.110 28	15.304 96	4.209 22		22	22	1	44.704 64	16.080 75	4.826 24	
	8	19	4	19.671 75	15.404 76	4.241 48		23	22	5	41.251 95	15.949 03	4.829 18	
	9	19	8	16.231 24	15.472 27	4.284 44		24	22	9	37.800 37	15.835 50	4.807 36	
	10	19	12	12.788 35	15.500 73	4.331 71		25	22	13	34.351 17	15.760 74	4.770 47	
	11	19	16	9.343 01	15.489 18	4.376 22		26	22	17	30.904 78	15.732 03	4.729 67	
	12	19	20	5.895 54	15.442 86	4.411 12		27	22	21	27.460 98	15.745 51	4.694 76	
	13	19	24	2.446 63	15.372 95	4.430 65		28	22	25	24.019 07	15.790 05	4.672 78	
	14	19	27	58.997 28	15.295 78	4.431 09		29	22	29	20.578 16	15.850 84	4.667 67	
	15	19	31	55.548 71	15.231 38	4.411 61		30	22	33	17.137 27	15.912 03	4.680 43	
	16	19	35	52.102 22	15.201 00	4.375 08		31	22	37	13.695 48	15.958 63	4.709 46	
	17	19	39	48.658 96	15.223 33	4.328 55		Sept.	1	22	41	10.252 03	15.977 89	4.751 00
	18	19	43	45.219 58	15.309 18	4.283 04		2	22	45	6.806 34	15.960 69	4.799 46	
	19	19	47	41.783 91	15.455 59	4.251 76		3	22	49	3.358 17	15.902 80	4.848 02	
20	19	51	38.350 67	15.641 91	4.246 57	4	22	52	59.907 61	15.805 95	4.889 39			
21	19	55	34.917 65	15.831 81	4.273 25	5	22	56	56.455 18	15.678 51	4.916 88			
22	19	59	31.482 31	15.983 67	4.327 81	6	23	0	53.001 77	15.534 99	4.925 54			
23	20	3	28.042 72	16.066 21	4.396 78	7	23	4	49.548 54	15.394 44	4.913 36			
24	20	7	24.598 36	16.070 71	4.462 23	8	23	8	46.096 76	15.277 48	4.882 06			
25	20	11	21.150 17	16.012 64	4.508 75	9	23	12	42.647 54	15.202 42	4.837 26			
26	20	15	17.700 02	15.922 44	4.528 47	10	23	16	39.201 60	15.181 10	4.787 90			
27	20	19	14.249 91	15.832 82	4.521 97	11	23	20	35.759 07	15.215 40	4.744 75			
28	20	23	10.801 38	15.769 14	4.496 01	12	23	24	32.319 32	15.295 15	4.718 24			
29	20	27	7.355 31	15.745 49	4.460 23	13	23	28	28.881 00	15.398 43	4.715 94			
30	20	31	3.911 88	15.765 08	4.424 45	14	23	32	25.442 29	15.495 14	4.739 93			
31	20	35	0.470 76	15.822 53	4.396 95	15	23	36	22.001 25	15.553 90	4.785 29			
Août	1	20	38	57.031 28	15.906 74	4.383 61	16	23	40	18.556 46	15.551 39	4.840 41		
2	20	42	53.592 55	16.003 34	4.387 69	17	23	44	15.107 50	15.480 80	4.889 93			
3	20	46	50.153 64	16.096 75	4.409 71	18	23	48	11.655 18	15.355 09	4.919 63			
4	20	50	46.713 61	16.172 12	4.447 68	19	23	52	8.201 22	15.202 63	4.921 24			
5	20	54	43.271 73	16.217 12	4.497 30	20	23	56	4.747 67	15.056 70	4.894 84			
6	20	58	39.827 49	16.223 56	4.552 55	21	0	0	1.296 17	14.944 38	4.847 81			
7	21	2	36.380 73	16.188 78	4.606 37	22	0	3	57.847 59	14.879 81	4.791 41			
8	21	6	32.931 67	16.116 47	4.651 61	23	0	7	54.401 96	14.863 50	4.737 05			
9	21	10	29.480 94	16.016 70	4.682 12	24	0	11	50.958 68	14.885 63	4.693 65			
10	21	14	26.029 47	15.904 97	4.693 79	25	0	15	47.516 81	14.930 77	4.666 58			
11	21	18	22.578 45	15.800 46	4.685 40	26	0	19	44.075 30	14.981 84	4.657 70			
12	21	22	19.129 10	15.723 35	4.659 29	27	0	23	40.633 18	15.022 82	4.665 90			
13	21	26	15.682 52	15.691 40	4.621 50	28	0	27	37.189 61	15.040 28	4.687 76			
14	21	30	12.239 39	15.716 05	4.581 37	29	0	31	33.744 01	15.024 42	4.718 10			
15	21	34	8.799 79	15.798 17	4.550 31	30	0	35	30.296 04	14.969 89	4.750 47			
16	21	38	5.362 91	15.924 95	4.539 47	Oct.	1	0	39	26.845 70	14.876 69	4.777 80		
17	21	42	1.927 13	16.069 57	4.556 41	2	0	43	23.393 38	14.750 95	4.793 11			

TEMPS SIDÉRAL 2009 à 0h TU, NUTATION 2009 à 0h TT

TEMPS SIDÉRAL, NUTATION EN LONGITUDE ET EN OBLIQUITÉ

Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.		Date	temps sidéral			nut. long.		nut. obl.	
	h	m	s	s	s	s	s		h	m	s	s	s	s	
Oct.	3	0	47	19.93983	14.60525	4.79062		Nov.	18	3	48	41.45794	14.13392	3.49956	
	4	0	51	16.48618	14.45779	4.76704			19	3	52	38.02031	14.24845	3.45998	
	5	0	55	13.03373	14.32993	4.72277			20	3	56	34.58283	14.36539	3.43991	
	6	0	59	9.58373	14.24210	4.66258			21	4	0	31.14446	14.46768	3.43727	
	7	1	3	6.13705	14.20866	4.59523			22	4	4	27.70439	14.54231	3.44754	
	8	1	7	2.69394	14.23339	4.53190			23	4	8	24.26214	14.58140	3.46470	
	9	1	10	59.25382	14.30710	4.48361			24	4	12	20.81758	14.58250	3.48210	
	10	1	14	55.81539	14.40861	4.45834			25	4	16	17.37087	14.54859	3.49309	
	11	1	18	52.37691	14.50915	4.45872			26	4	20	13.92253	14.48793	3.49166	
	12	1	22	48.93656	14.57926	4.48089			27	4	24	10.47337	14.41390	3.47312	
	13	1	26	45.49297	14.59636	4.51516			28	4	28	7.02449	14.34452	3.43498	
	14	1	30	42.04558	14.55120	4.54821			29	4	32	3.57719	14.30085	3.37801	
15	1	34	38.59481	14.45086	4.56671		30	4	36	0.13273	14.30362	3.30727			
16	1	38	35.14198	14.31697	4.56107		Déc.	1	4	39	56.69202	14.36777	3.23229		
17	1	42	31.68893	14.17924	4.52819			2	4	43	53.25523	14.49589	3.16574		
18	1	46	28.23740	14.06641	4.47203			3	4	47	49.82148	14.67371	3.12014		
19	1	50	24.78860	13.99829	4.40190			4	4	51	46.38892	14.87118	3.10339		
20	1	54	21.34295	13.98167	4.32924			5	4	55	42.95528	15.05084	3.11528		
21	1	58	17.90011	14.01090	4.26447			6	4	59	39.51857	15.18043	3.14709		
22	2	2	14.45920	14.07177	4.21490			7	5	3	36.07779	15.24341	3.18470		
23	2	6	11.01913	14.14627	4.18392			8	5	7	32.63311	15.24273	3.21351		
24	2	10	7.57879	14.21658	4.17135			9	5	11	29.18570	15.19735	3.22271		
25	2	14	4.13728	14.26761	4.17422			10	5	15	25.73723	15.13463	3.20758		
26	2	18	0.69392	14.28838	4.18760			11	5	19	22.28940	15.08232	3.16966		
27	2	21	57.24832	14.27258	4.20536			12	5	23	18.84355	15.06234	3.11533		
28	2	25	53.80041	14.21899	4.22070		13	5	27	15.40044	15.08722	3.05377			
29	2	29	50.35045	14.13187	4.22680		14	5	31	11.96020	15.15904	2.99482			
30	2	33	46.89905	14.02131	4.21757		15	5	35	8.52239	15.27043	2.94703			
31	2	37	43.44720	13.90326	4.18865		16	5	39	5.08612	15.40714	2.91628			
Nov.	1	2	41	39.99614	13.79823	4.13870		17	5	43	1.65031	15.55137	2.90506		
	2	2	45	36.54723	13.72829	4.07056		18	5	46	58.21387	15.68537	2.91245		
	3	2	49	33.10161	13.71197	3.99176		19	5	50	54.77590	15.79428	2.93469		
	4	2	53	29.65980	13.75811	3.91358		20	5	54	51.33578	15.86813	2.96609		
	5	2	57	26.22148	13.86121	3.84849		21	5	58	47.89326	15.90271	2.99997		
	6	3	1	22.78538	14.00079	3.80649		22	6	2	44.44844	15.89965	3.02963		
	7	3	5	19.34964	14.14613	3.79179		23	6	6	41.00175	15.86597	3.04903		
	8	3	9	15.91227	14.26491	3.80132		24	6	10	37.55390	15.81347	3.05344		
	9	3	13	12.47177	14.33251	3.82558		25	6	14	34.10587	15.75792	3.04001		
	10	3	17	9.02750	14.33841	3.85151		26	6	18	30.65880	15.71800	3.00849		
	11	3	21	5.57978	14.28809	3.86612		27	6	22	27.21388	15.71330	2.96186		
	12	3	25	2.12980	14.20055	3.85982		28	6	26	23.77217	15.76096	2.90699		
13	3	28	58.67917	14.10252	3.82853		29	6	30	20.33424	15.87054	2.85441			
14	3	32	55.22958	14.02140	3.77428		30	6	34	16.89987	16.03816	2.81669			
15	3	36	51.78233	13.97863	3.70421		31	6	38	13.46775	16.24278	2.80492			
16	3	40	48.33810	13.98525	3.62844		32	6	42	10.03571	16.44866	2.82403			
17	3	44	44.89686	14.04056	3.55740		33	6	46	6.60131	16.61599	2.86955			

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE

Angle de rotation de la Terre (ERA), équation des origines ε_0 II. 10

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2009 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Janv.	0	99	40	31.451 43	-7	7.305 69	Févr.	15	145	0	48.846 34	-7	14.071 71	
	1	100	39	39.655 67	-7	7.435 34		16	145	59	57.050 57	-7	14.181 72	
	2	101	38	47.859 90	-7	7.531 96		17	146	59	5.254 81	-7	14.327 32	
	3	102	37	56.064 14	-7	7.606 94		18	147	58	13.459 05	-7	14.500 10	
	4	103	37	4.268 38	-7	7.677 61		19	148	57	21.663 29	-7	14.688 40	
	5	104	36	12.472 62	-7	7.765 53		20	149	56	29.867 52	-7	14.878 92	
	6	105	35	20.676 85	-7	7.893 18		21	150	55	38.071 76	-7	15.057 97	
	7	106	34	28.881 09	-7	8.078 61		22	151	54	46.276 00	-7	15.212 94	
	8	107	33	37.085 33	-7	8.328 58		23	152	53	54.480 23	-7	15.333 87	
	9	108	32	45.289 56	-7	8.632 47		24	153	53	2.684 47	-7	15.415 39	
	10	109	31	53.493 80	-7	8.961 12		25	154	52	10.888 71	-7	15.458 48	
	11	110	31	1.698 04	-7	9.274 47		26	155	51	19.092 95	-7	15.471 64	
	12	111	30	9.902 28	-7	9.536 02		27	156	50	27.297 18	-7	15.470 52	
	13	112	29	18.106 51	-7	9.726 71		28	157	49	35.501 42	-7	15.475 79	
	14	113	28	26.310 75	-7	9.849 99		Mars	1	158	48	43.705 66	-7	15.509 19
	15	114	27	34.514 99	-7	9.926 62			2	159	47	51.909 89	-7	15.588 53
	16	115	26	42.719 22	-7	9.984 24			3	160	47	0.114 13	-7	15.722 90
	17	116	25	50.923 46	-7	10.048 33			4	161	46	8.318 37	-7	15.909 39
	18	117	24	59.127 70	-7	10.137 16			5	162	45	16.522 61	-7	16.132 26
19	118	24	7.331 94	-7	10.260 56	6	163		44	24.726 84	-7	16.365 46		
20	119	23	15.536 17	-7	10.420 70	7	164		43	32.931 08	-7	16.578 51		
21	120	22	23.740 41	-7	10.613 63	8	165		42	41.135 32	-7	16.744 68		
22	121	21	31.944 65	-7	10.830 75	9	166		41	49.339 55	-7	16.849 25		
23	122	20	40.148 88	-7	11.060 22	10	167		40	57.543 79	-7	16.894 20		
24	123	19	48.353 12	-7	11.288 32	11	168		40	5.748 03	-7	16.897 19		
25	124	18	56.557 36	-7	11.501 09	12	169		39	13.952 27	-7	16.884 89		
26	125	18	4.761 59	-7	11.686 14	13	170		38	22.156 50	-7	16.884 07		
27	126	17	12.965 83	-7	11.834 66	14	171		37	30.360 74	-7	16.914 44		
28	127	16	21.170 07	-7	11.943 34	15	172		36	38.564 98	-7	16.985 41		
29	128	15	29.374 31	-7	12.015 60	16	173		35	46.769 21	-7	17.096 64		
30	129	14	37.578 54	-7	12.061 87	17	174		34	54.973 45	-7	17.240 55		
Févr.	31	130	13	45.782 78	-7	12.098 68	18		175	34	3.177 69	-7	17.405 28	
	1	131	12	53.987 02	-7	12.146 42	19	176	33	11.381 92	-7	17.577 11		
	2	132	12	2.191 25	-7	12.226 00	20	177	32	19.586 16	-7	17.742 18		
	3	133	11	10.395 49	-7	12.354 53	21	178	31	27.790 40	-7	17.887 80		
	4	134	10	18.599 73	-7	12.540 56	22	179	30	35.994 64	-7	18.003 58		
	5	135	9	26.803 97	-7	12.779 73	23	180	29	44.198 87	-7	18.082 83		
	6	136	8	35.008 20	-7	13.052 88	24	181	28	52.403 11	-7	18.124 15		
	7	137	7	43.212 44	-7	13.328 60	25	182	28	0.607 35	-7	18.133 03		
	8	138	6	51.416 68	-7	13.571 54	26	183	27	8.811 58	-7	18.122 65		
	9	139	5	59.620 91	-7	13.754 41	27	184	26	17.015 82	-7	18.112 96		
	10	140	5	7.825 15	-7	13.867 91	28	185	25	25.220 06	-7	18.127 21		
	11	141	4	16.029 39	-7	13.923 08	29	186	24	33.424 30	-7	18.186 36		
	12	142	3	24.233 63	-7	13.945 12	30	187	23	41.628 53	-7	18.302 66		
	13	143	2	32.437 86	-7	13.962 93	31	188	22	49.832 77	-7	18.475 06		
	14	144	1	40.642 10	-7	14.000 34	Avril	1	189	21	58.037 01	-7	18.688 41	

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2009 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ε_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines				
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"			
Avril	2	190	21	6.241 24	-7	18.916 95	Mai	18	235	41	23.636 15	-7	24.494 84	
	3	191	20	14.445 48	-7	19.131 04		19	236	40	31.840 39	-7	24.552 88	
	4	192	19	22.649 72	-7	19.304 93		20	237	39	40.044 63	-7	24.598 21	
	5	193	18	30.853 96	-7	19.423 30		21	238	38	48.248 86	-7	24.650 42	
	6	194	17	39.058 19	-7	19.484 93		22	239	37	56.453 10	-7	24.732 74	
	7	195	16	47.262 43	-7	19.502 38		23	240	37	4.657 34	-7	24.866 96	
	8	196	15	55.466 67	-7	19.497 94		24	241	36	12.861 57	-7	25.065 86	
	9	197	15	3.670 90	-7	19.497 08		25	242	35	21.065 81	-7	25.325 98	
	10	198	14	11.875 14	-7	19.521 81		26	243	34	29.270 05	-7	25.625 13	
	11	199	13	20.079 38	-7	19.585 86		27	244	33	37.474 29	-7	25.928 14	
	12	200	12	28.283 62	-7	19.693 05		28	245	32	45.678 52	-7	26.198 99	
	13	201	11	36.487 85	-7	19.838 39		29	246	31	53.882 76	-7	26.413 09	
	14	202	10	44.692 09	-7	20.010 81		30	247	31	2.087 00	-7	26.563 73	
	15	203	9	52.896 33	-7	20.196 17		31	248	30	10.291 23	-7	26.661 05	
	16	204	9	1.100 56	-7	20.379 81		Juin	1	249	29	18.495 47	-7	26.726 06
	17	205	8	9.304 80	-7	20.548 35			2	250	28	26.699 71	-7	26.783 47
18	206	7	17.509 04	-7	20.690 93	3	251		27	34.903 95	-7	26.855 74		
19	207	6	25.713 28	-7	20.800 17	4	252		26	43.108 18	-7	26.959 25		
20	208	5	33.917 51	-7	20.873 24	5	253		25	51.312 42	-7	27.102 45		
21	209	4	42.121 75	-7	20.913 08	6	254		24	59.516 66	-7	27.285 66		
22	210	3	50.325 99	-7	20.929 50	7	255		24	7.720 89	-7	27.502 14		
23	211	2	58.530 22	-7	20.939 55	8	256		23	15.925 13	-7	27.739 98		
24	212	2	6.734 46	-7	20.965 84	9	257		22	24.129 37	-7	27.984 56		
25	213	1	14.938 70	-7	21.032 17	10	258		21	32.333 61	-7	28.221 01		
26	214	0	23.142 94	-7	21.156 46	11	259	20	40.537 84	-7	28.436 35			
27	214	59	31.347 17	-7	21.343 53	12	260	19	48.742 08	-7	28.621 17			
28	215	58	39.551 41	-7	21.581 31	13	261	18	56.946 32	-7	28.770 64			
29	216	57	47.755 65	-7	21.843 26	14	262	18	5.150 55	-7	28.885 16			
30	217	56	55.959 88	-7	22.096 51	15	263	17	13.354 79	-7	28.970 63			
Mai	1	218	56	4.164 12	-7	22.311 98	16	264	16	21.559 03	-7	29.038 51		
	2	219	55	12.368 36	-7	22.472 28	17	265	15	29.763 27	-7	29.105 42		
	3	220	54	20.572 60	-7	22.574 96	18	266	14	37.967 50	-7	29.191 89		
	4	221	53	28.776 83	-7	22.631 22	19	267	13	46.171 74	-7	29.319 35		
	5	222	52	36.981 07	-7	22.661 49	20	268	12	54.375 98	-7	29.504 89		
	6	223	51	45.185 31	-7	22.689 71	21	269	12	2.580 21	-7	29.754 26		
	7	224	50	53.389 54	-7	22.737 75	22	270	11	10.784 45	-7	30.055 80		
	8	225	50	1.593 78	-7	22.821 19	23	271	10	18.988 69	-7	30.379 92		
	9	226	49	9.798 02	-7	22.946 97	24	272	9	27.192 93	-7	30.687 25		
	10	227	48	18.002 25	-7	23.113 30	25	273	8	35.397 16	-7	30.943 11		
	11	228	47	26.206 49	-7	23.311 26	26	274	7	43.601 40	-7	31.130 33		
12	229	46	34.410 73	-7	23.527 38	27	275	6	51.805 64	-7	31.253 31			
13	230	45	42.614 97	-7	23.746 57	28	276	6	0.009 87	-7	31.332 76			
14	231	44	50.819 20	-7	23.954 42	29	277	5	8.214 11	-7	31.396 01			
15	232	43	59.023 44	-7	24.139 07	30	278	4	16.418 35	-7	31.468 54			
16	233	43	7.227 68	-7	24.292 32	Juill.	1	279	3	24.622 58	-7	31.568 83		
17	234	42	15.431 91	-7	24.410 42		2	280	2	32.826 82	-7	31.706 66		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2009 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ϵ_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines	
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"
Juill.	3	281	1	41.031 06	-7 31.883 48	Août	18	326	21	58.425 97	-7 38.927 39
	4	282	0	49.235 30	-7 32.093 78		19	327	21	6.630 20	-7 39.121 10
	5	282	59	57.439 53	-7 32.326 93		20	328	20	14.834 44	-7 39.247 54
	6	283	59	5.643 77	-7 32.569 26		21	329	19	23.038 68	-7 39.308 86
	7	284	58	13.848 01	-7 32.806 12		22	330	18	31.242 91	-7 39.326 62
	8	285	57	22.052 24	-7 33.023 95		23	331	17	39.447 15	-7 39.332 06
	9	286	56	30.256 48	-7 33.212 15		24	332	16	47.651 39	-7 39.354 19
	10	287	55	38.460 72	-7 33.364 51		25	333	15	55.855 63	-7 39.411 91
	11	288	54	46.664 96	-7 33.480 17		26	334	15	4.059 86	-7 39.511 88
	12	289	53	54.869 19	-7 33.563 93		27	335	14	12.264 10	-7 39.650 56
	13	290	53	3.073 43	-7 33.626 05		28	336	13	20.468 34	-7 39.817 72
	14	291	52	11.277 67	-7 33.681 54		29	337	12	28.672 57	-7 39.999 78
	15	292	51	19.481 90	-7 33.748 75		30	338	11	36.876 81	-7 40.182 20
	16	293	50	27.686 14	-7 33.847 18		31	339	10	45.081 05	-7 40.351 21
	17	294	49	35.890 38	-7 33.993 99		Sept. 1	340	9	53.285 29	-7 40.495 15
	18	295	48	44.094 62	-7 34.199 09		2	341	9	1.489 52	-7 40.605 62
	19	296	47	52.298 85	-7 34.459 73		3	342	8	9.693 76	-7 40.678 75
20	297	47	0.503 09	-7 34.756 97	4	343	7	17.898 00	-7 40.716 16		
21	298	46	8.707 33	-7 35.057 47	5	344	6	26.102 23	-7 40.725 49		
22	299	45	16.911 56	-7 35.323 04	6	345	5	34.306 47	-7 40.720 09		
23	300	44	25.115 80	-7 35.524 99	7	346	4	42.510 71	-7 40.717 43		
24	301	43	33.320 04	-7 35.655 35	8	347	3	50.714 95	-7 40.736 42		
25	302	42	41.524 28	-7 35.728 32	9	348	2	58.919 18	-7 40.793 87		
26	303	41	49.728 51	-7 35.771 83	10	349	2	7.123 42	-7 40.900 63		
27	304	40	57.932 75	-7 35.815 90	11	350	1	15.327 66	-7 41.058 42		
28	305	40	6.136 99	-7 35.883 77	12	351	0	23.531 89	-7 41.257 89		
29	306	39	14.341 22	-7 35.988 39	13	351	59	31.736 13	-7 41.478 94		
30	307	38	22.545 46	-7 36.132 67	14	352	58	39.940 37	-7 41.693 93		
31	308	37	30.749 70	-7 36.311 68	15	353	57	48.144 61	-7 41.874 08		
Août 1	309	36	38.953 94	-7 36.515 24	16	354	56	56.348 84	-7 41.998 02		
2	310	35	47.158 17	-7 36.730 15	17	355	56	4.553 08	-7 42.059 48		
3	311	34	55.362 41	-7 36.942 13	18	356	55	12.757 32	-7 42.070 40		
4	312	34	3.566 65	-7 37.137 54	19	357	54	20.961 55	-7 42.056 79		
5	313	33	11.770 88	-7 37.305 08	20	358	53	29.165 79	-7 42.049 20		
6	314	32	19.975 12	-7 37.437 24	21	359	52	37.370 03	-7 42.072 46		
7	315	31	28.179 36	-7 37.531 58	22	0	51	45.574 27	-7 42.139 54		
8	316	30	36.383 60	-7 37.591 50	23	1	50	53.778 50	-7 42.250 88		
9	317	29	44.587 83	-7 37.626 23	24	2	50	1.982 74	-7 42.397 48		
10	318	28	52.792 07	-7 37.650 00	25	3	49	10.186 98	-7 42.565 19		
11	319	28	0.996 31	-7 37.680 41	26	4	48	18.391 21	-7 42.738 33		
12	320	27	9.200 54	-7 37.735 96	27	5	47	26.595 45	-7 42.902 19		
13	321	26	17.404 78	-7 37.832 97	28	6	46	34.799 69	-7 43.044 47		
14	322	25	25.609 02	-7 37.981 90	29	7	45	43.003 93	-7 43.156 17		
15	323	24	33.813 26	-7 38.183 56	30	8	44	51.208 16	-7 43.232 40		
16	324	23	42.017 49	-7 38.426 18	Oct. 1	9	43	59.412 40	-7 43.273 14		
17	325	22	50.221 73	-7 38.685 15	2	10	43	7.616 64	-7 43.284 04		

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE 2009 à 0h TU

ANGLE DE ROTATION DE LA TERRE (ERA), ÉQUATION DES ORIGINES ϵ_0

Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines		Date	angle de rotation de la Terre			équation des origines			
	°	'	"	'	"		°	'	"	'	"		
Oct.	3	11	42	15.820 87	-7	43.276 64	Nov.	18	57	2	33.215 78	-7	48.653 28
	4	12	41	24.025 11	-7	43.267 63		19	58	1	41.420 02	-7	48.884 65
	5	13	40	32.229 35	-7	43.276 62		20	59	0	49.624 26	-7	49.118 22
	6	14	39	40.433 59	-7	43.322 35		21	59	59	57.828 49	-7	49.338 34
	7	15	38	48.637 82	-7	43.418 00		22	60	59	6.032 73	-7	49.533 06
	8	16	37	56.842 06	-7	43.567 00		23	61	58	14.236 97	-7	49.695 18
	9	17	37	5.046 30	-7	43.760 94		24	62	57	22.441 20	-7	49.822 45
	10	18	36	13.250 53	-7	43.980 36		25	63	56	30.645 44	-7	49.917 60
	11	19	35	21.454 77	-7	44.198 88		26	64	55	38.849 68	-7	49.988 20
	12	20	34	29.659 01	-7	44.389 45		27	65	54	47.053 92	-7	50.046 56
	13	21	33	37.863 24	-7	44.531 37		28	66	53	55.258 15	-7	50.109 20
	14	22	32	46.067 48	-7	44.616 18		29	67	53	3.462 39	-7	50.195 44
15	23	31	54.271 72	-7	44.650 37	30	68	52	11.666 63	-7	50.324 30		
16	24	31	2.475 96	-7	44.653 80	Déc.	1	69	51	19.870 86	-7	50.509 48	
17	25	30	10.680 19	-7	44.653 72		2	70	50	28.075 10	-7	50.753 35	
18	26	29	18.884 43	-7	44.676 51	3	71	49	36.279 34	-7	51.042 80		
19	27	28	27.088 67	-7	44.740 33	4	72	48	44.483 57	-7	51.350 26		
20	28	27	35.292 90	-7	44.851 39	5	73	47	52.687 81	-7	51.641 35		
21	29	26	43.497 14	-7	45.004 51	6	74	47	0.892 05	-7	51.886 49		
22	30	25	51.701 38	-7	45.186 66	7	75	46	9.096 29	-7	52.070 50		
23	31	24	59.905 62	-7	45.381 30	8	76	45	17.300 52	-7	52.196 12		
24	32	24	8.109 85	-7	45.572 07	9	77	44	25.504 76	-7	52.280 75		
25	33	23	16.314 09	-7	45.745 16	10	78	43	33.709 00	-7	52.349 48		
26	34	22	24.518 33	-7	45.890 47	11	79	42	41.913 23	-7	52.427 78		
27	35	21	32.722 56	-7	46.002 23	12	80	41	50.117 47	-7	52.535 76		
28	36	20	40.926 80	-7	46.079 32	13	81	40	58.321 71	-7	52.684 90		
29	37	19	49.131 04	-7	46.125 64	14	82	40	6.525 95	-7	52.877 10		
30	38	18	57.335 28	-7	46.150 48	15	83	39	14.730 18	-7	53.105 61		
31	39	18	5.539 51	-7	46.168 45	16	84	38	22.934 42	-7	53.357 33		
Nov.	1	40	17	13.743 75	-7	46.198 38	17	85	37	31.138 66	-7	53.615 94	
	2	41	16	21.947 99	-7	46.260 53	18	86	36	39.342 89	-7	53.865 15	
	3	42	15	30.152 22	-7	46.371 87	19	87	35	47.547 13	-7	54.091 33	
	4	43	14	38.356 46	-7	46.540 53	20	88	34	55.751 37	-7	54.285 34	
	5	44	13	46.560 70	-7	46.761 44	21	89	34	3.955 61	-7	54.443 33	
	6	45	12	54.764 94	-7	47.015 80	22	90	33	12.159 84	-7	54.566 78	
7	46	12	2.969 17	-7	47.275 41	23	91	32	20.364 08	-7	54.662 14		
8	47	11	11.173 41	-7	47.510 65	24	92	31	28.568 32	-7	54.740 24		
9	48	10	19.377 65	-7	47.698 92	25	93	30	36.772 55	-7	54.815 56		
10	49	9	27.581 88	-7	47.830 56	26	94	29	44.976 79	-7	54.905 23		
11	50	8	35.786 12	-7	47.910 64	27	95	28	53.181 03	-7	55.027 23		
12	51	7	43.990 36	-7	47.956 59	28	96	28	1.385 27	-7	55.197 28		
13	52	6	52.194 60	-7	47.992 93	29	97	27	9.589 50	-7	55.424 14		
14	53	6	0.398 83	-7	48.044 81	30	98	26	17.793 74	-7	55.704 25		
15	54	5	8.603 07	-7	48.131 88	31	99	25	25.997 98	-7	56.018 28		
16	55	4	16.807 31	-7	48.264 26	32	100	24	34.202 21	-7	56.333 44		
17	56	3	25.011 54	-7	48.441 33	33	101	23	42.406 45	-7	56.613 21		

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE

Coordonnées du CIP X et Y, angle s II. 16

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2009 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Janv.	0	185.652 11	5.342 57	0.000 03	Févr.	15	188.592 24	5.798 84	-0.000 14
	1	185.708 55	5.385 15	0.000 01		16	188.639 98	5.763 87	-0.000 12
	2	185.750 64	5.417 19	0.000 00		17	188.703 15	5.734 66	-0.000 11
	3	185.783 30	5.432 10	-0.000 01		18	188.778 14	5.717 52	-0.000 10
	4	185.814 05	5.425 64	0.000 00		19	188.859 90	5.716 38	-0.000 09
	5	185.852 23	5.397 22	0.000 01		20	188.942 66	5.732 77	-0.000 10
	6	185.907 58	5.351 08	0.000 03		21	189.020 49	5.765 78	-0.000 11
	7	185.987 96	5.296 81	0.000 06		22	189.087 91	5.812 12	-0.000 14
	8	186.096 35	5.248 39	0.000 08		23	189.140 59	5.866 21	-0.000 16
	9	186.228 15	5.220 88	0.000 10		24	189.176 18	5.920 68	-0.000 18
	10	186.370 77	5.225 11	0.000 10		25	189.195 10	5.967 22	-0.000 20
	11	186.506 84	5.262 63	0.000 08		26	189.201 00	5.997 99	-0.000 22
	12	186.620 51	5.324 10	0.000 05		27	189.200 66	6.007 32	-0.000 22
	13	186.703 48	5.392 95	0.000 02		28	189.203 04	5.993 35	-0.000 22
14	186.757 19	5.452 13	0.000 00	Mars	1	189.217 55	5.958 97	-0.000 20	
15	186.790 63	5.489 94	-0.000 02	2	189.251 96	5.911 87	-0.000 18		
16	186.815 76	5.502 36	-0.000 02	3	189.310 22	5.863 26	-0.000 16		
17	186.843 64	5.491 99	-0.000 02	4	189.391 10	5.825 54	-0.000 14		
18	186.882 22	5.465 58	-0.000 01	5	189.487 81	5.809 32	-0.000 13		
19	186.935 76	5.431 56	0.000 01	6	189.589 07	5.820 43	-0.000 13		
20	187.005 23	5.398 30	0.000 03	7	189.681 65	5.857 76	-0.000 15		
21	187.088 94	5.373 07	0.000 04	8	189.753 96	5.912 91	-0.000 17		
22	187.183 17	5.361 40	0.000 04	9	189.799 56	5.972 14	-0.000 20		
23	187.282 78	5.366 73	0.000 04	10	189.819 29	6.020 51	-0.000 22		
24	187.381 86	5.390 12	0.000 03	11	189.820 78	6.046 49	-0.000 23		
25	187.474 32	5.430 03	0.000 02	12	189.815 57	6.045 19	-0.000 23		
26	187.554 79	5.482 42	-0.000 01	13	189.815 27	6.018 99	-0.000 22		
27	187.619 44	5.541 02	-0.000 03	14	189.828 46	5.975 55	-0.000 20		
28	187.666 82	5.598 11	-0.000 06	15	189.859 23	5.924 90	-0.000 18		
29	187.698 38	5.645 66	-0.000 08	16	189.907 46	5.876 76	-0.000 15		
30	187.718 64	5.676 67	-0.000 09	17	189.969 89	5.838 80	-0.000 13		
31	187.734 74	5.686 59	-0.000 10	18	190.041 38	5.815 99	-0.000 12		
Févr.	1	187.755 53	5.674 55	-0.000 09	19	190.115 99	5.810 52	-0.000 12	
	2	187.790 08	5.644 05	-0.000 08	20	190.187 71	5.822 00	-0.000 12	
	3	187.845 83	5.603 11	-0.000 06	21	190.251 03	5.847 74	-0.000 13	
	4	187.926 50	5.563 36	-0.000 04	22	190.301 44	5.882 91	-0.000 15	
	5	188.030 25	5.537 87	-0.000 02	23	190.336 02	5.920 88	-0.000 17	
	6	188.148 79	5.537 80	-0.000 02	24	190.354 14	5.953 71	-0.000 18	
	7	188.268 53	5.568 39	-0.000 04	25	190.358 16	5.973 18	-0.000 19	
	8	188.374 12	5.626 04	-0.000 06	26	190.353 79	5.972 32	-0.000 19	
	9	188.453 70	5.698 60	-0.000 09	27	190.349 65	5.947 41	-0.000 18	
	10	188.503 21	5.769 28	-0.000 12	28	190.355 84	5.899 59	-0.000 16	
	11	188.527 38	5.822 85	-0.000 15	29	190.381 45	5.835 68	-0.000 13	
	12	188.537 12	5.850 50	-0.000 16	30	190.431 83	5.767 08	-0.000 09	
	13	188.544 97	5.851 42	-0.000 16	31	190.506 56	5.707 09	-0.000 07	
	14	188.561 25	5.831 21	-0.000 15	Avril	1	190.599 09	5.667 27	-0.000 05

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2009 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Avril	2	190.698 27	5.654 12	-0.000 04	Mai	18	193.120 47	4.784 53	0.000 40
	3	190.791 25	5.667 26	-0.000 04		19	193.145 76	4.783 33	0.000 40
	4	190.866 85	5.699 52	-0.000 06		20	193.165 49	4.762 62	0.000 41
	5	190.918 40	5.738 90	-0.000 08		21	193.188 15	4.719 29	0.000 43
	6	190.945 33	5.771 82	-0.000 09		22	193.223 82	4.654 75	0.000 46
	7	190.953 06	5.786 71	-0.000 10		23	193.281 94	4.576 14	0.000 50
	8	190.951 24	5.776 88	-0.000 09		24	193.368 11	4.496 10	0.000 53
	9	190.950 91	5.741 86	-0.000 08		25	193.480 84	4.429 22	0.000 57
	10	190.961 63	5.686 89	-0.000 05		26	193.610 57	4.390 43	0.000 59
	11	190.989 37	5.620 83	-0.000 02		27	193.742 06	4.382 86	0.000 59
	12	191.035 81	5.553 69	0.000 01		28	193.859 67	4.402 70	0.000 58
	13	191.098 81	5.494 32	0.000 04		29	193.952 71	4.437 63	0.000 57
	14	191.173 58	5.449 04	0.000 06		30	194.018 24	4.472 41	0.000 55
	15	191.254 01	5.421 13	0.000 08		31	194.060 62	4.493 83	0.000 54
	16	191.333 73	5.410 96	0.000 08	Juin	1	194.088 93	4.493 76	0.000 54
	17	191.406 94	5.416 33	0.000 08		2	194.113 89	4.470 08	0.000 55
	18	191.468 93	5.432 95	0.000 07		3	194.145 24	4.425 88	0.000 57
	19	191.516 47	5.454 82	0.000 06		4	194.190 11	4.367 95	0.000 60
	20	191.548 33	5.474 72	0.000 06		5	194.252 16	4.304 92	0.000 63
	21	191.565 76	5.484 79	0.000 05		6	194.331 58	4.245 56	0.000 66
	22	191.572 99	5.477 65	0.000 05		7	194.425 44	4.197 33	0.000 69
	23	191.577 41	5.447 92	0.000 07		8	194.528 61	4.165 36	0.000 70
	24	191.588 81	5.394 26	0.000 09		9	194.634 74	4.151 92	0.000 71
	25	191.617 51	5.320 96	0.000 13		10	194.737 39	4.156 35	0.000 71
	26	191.671 32	5.238 24	0.000 17		11	194.830 93	4.175 37	0.000 70
	27	191.752 37	5.160 22	0.000 20		12	194.911 25	4.203 72	0.000 69
	28	191.855 44	5.100 81	0.000 23		13	194.976 26	4.234 86	0.000 67
	29	191.969 07	5.069 05	0.000 25		14	195.026 10	4.261 73	0.000 66
	30	192.078 99	5.066 14	0.000 25		15	195.063 32	4.277 52	0.000 65
Mai	1	192.172 59	5.085 33	0.000 24		16	195.092 87	4.276 48	0.000 65
	2	192.242 30	5.114 53	0.000 23		17	195.121 96	4.255 02	0.000 67
	3	192.287 01	5.140 10	0.000 22		18	195.159 47	4.212 84	0.000 69
	4	192.311 56	5.150 44	0.000 22		19	195.214 71	4.154 23	0.000 71
	5	192.324 78	5.138 46	0.000 22		20	195.295 11	4.088 67	0.000 75
	6	192.337 06	5.102 59	0.000 24		21	195.403 20	4.029 85	0.000 77
	7	192.357 88	5.046 42	0.000 26		22	195.533 96	3.992 32	0.000 79
	8	192.394 02	4.977 37	0.000 30		23	195.674 59	3.986 13	0.000 80
	9	192.448 51	4.904 68	0.000 33		24	195.808 03	4.012 01	0.000 79
	10	192.520 59	4.837 39	0.000 36		25	195.919 21	4.060 29	0.000 76
	11	192.606 41	4.782 75	0.000 39		26	196.000 64	4.114 75	0.000 74
	12	192.700 15	4.745 17	0.000 41		27	196.054 20	4.159 03	0.000 72
	13	192.795 26	4.726 02	0.000 42		28	196.088 83	4.182 01	0.000 71
	14	192.885 50	4.723 79	0.000 42		29	196.116 37	4.179 88	0.000 71
	15	192.965 72	4.734 64	0.000 42		30	196.147 88	4.155 28	0.000 72
	16	193.032 33	4.752 98	0.000 41	Juill.	1	196.191 38	4.115 16	0.000 74
	17	193.083 71	4.772 04	0.000 40		2	196.251 15	4.068 33	0.000 76

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2009 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Juill.	3	196.327 82	4.023 68	0.000 79	Août	18	199.388 15	4.370 58	0.000 65
	4	196.419 03	3.988 80	0.000 80		19	199.472 42	4.435 66	0.000 62
	5	196.520 19	3.969 13	0.000 81		20	199.527 54	4.505 43	0.000 59
	6	196.625 37	3.967 53	0.000 82		21	199.554 39	4.562 67	0.000 56
	7	196.728 23	3.984 06	0.000 81		22	199.562 30	4.594 78	0.000 54
	8	196.822 87	4.016 11	0.000 79		23	199.564 78	4.597 71	0.000 54
	9	196.904 69	4.058 88	0.000 78		24	199.574 44	4.575 87	0.000 55
	10	196.970 98	4.106 01	0.000 75		25	199.599 50	4.538 92	0.000 57
	11	197.021 36	4.150 41	0.000 73		26	199.642 86	4.498 03	0.000 59
	12	197.057 88	4.185 23	0.000 72		27	199.703 01	4.462 98	0.000 61
	13	197.084 99	4.204 70	0.000 71		28	199.775 55	4.440 84	0.000 62
	14	197.109 17	4.205 09	0.000 71		29	199.854 59	4.435 56	0.000 62
	15	197.138 38	4.185 54	0.000 72		30	199.933 84	4.448 13	0.000 62
	16	197.181 09	4.148 91	0.000 74		31	200.007 31	4.477 01	0.000 61
	17	197.244 74	4.102 25	0.000 76	Sept.	1	200.069 94	4.518 40	0.000 59
	18	197.333 66	4.056 54	0.000 78		2	200.118 08	4.566 75	0.000 56
	19	197.446 70	4.025 01	0.000 80		3	200.150 03	4.615 24	0.000 54
	20	197.575 67	4.019 54	0.000 80		4	200.166 47	4.656 58	0.000 52
	21	197.706 14	4.045 92	0.000 79		5	200.170 71	4.684 05	0.000 51
	22	197.821 54	4.100 23	0.000 76		6	200.168 51	4.692 72	0.000 50
	23	197.909 40	4.169 01	0.000 73		7	200.167 45	4.680 54	0.000 51
	24	197.966 21	4.234 33	0.000 70		8	200.175 73	4.649 22	0.000 52
	25	197.998 08	4.280 78	0.000 68		9	200.200 64	4.604 37	0.000 55
	26	198.017 12	4.300 45	0.000 67		10	200.246 92	4.554 90	0.000 57
	27	198.036 32	4.293 91	0.000 67		11	200.315 34	4.511 59	0.000 59
	28	198.065 81	4.267 88	0.000 69		12	200.401 88	4.484 90	0.000 61
	29	198.111 20	4.232 00	0.000 70		13	200.497 83	4.482 38	0.000 61
	30	198.173 78	4.196 09	0.000 72		14	200.591 22	4.506 16	0.000 60
	31	198.251 44	4.168 41	0.000 74		15	200.669 57	4.551 34	0.000 58
Août	1	198.339 78	4.154 88	0.000 74		16	200.723 57	4.606 34	0.000 55
	2	198.433 09	4.158 75	0.000 74		17	200.750 47	4.655 80	0.000 53
	3	198.525 17	4.180 57	0.000 73		18	200.755 40	4.685 49	0.000 51
	4	198.610 10	4.218 34	0.000 72		19	200.749 63	4.687 11	0.000 51
	5	198.682 98	4.267 81	0.000 69		20	200.746 40	4.660 71	0.000 52
	6	198.740 54	4.322 93	0.000 67		21	200.756 49	4.613 66	0.000 55
	7	198.781 70	4.376 65	0.000 64		22	200.785 55	4.557 20	0.000 58
	8	198.807 91	4.421 83	0.000 62		23	200.833 81	4.502 73	0.000 60
	9	198.823 16	4.452 31	0.000 61		24	200.897 39	4.459 18	0.000 62
	10	198.833 62	4.463 95	0.000 60		25	200.970 16	4.431 95	0.000 64
	11	198.846 90	4.455 54	0.000 60		26	201.045 33	4.422 90	0.000 64
	12	198.871 04	4.429 38	0.000 62		27	201.116 52	4.430 94	0.000 64
	13	198.913 12	4.391 49	0.000 64		28	201.178 38	4.452 66	0.000 63
	14	198.977 70	4.351 21	0.000 66		29	201.227 01	4.482 89	0.000 62
	15	199.065 17	4.319 96	0.000 67		30	201.260 27	4.515 19	0.000 60
	16	199.170 45	4.308 88	0.000 68	Oct.	1	201.278 13	4.542 48	0.000 59
	17	199.282 89	4.325 57	0.000 67		2	201.283 02	4.557 77	0.000 58

SYSTÈME CÉLESTE INTERMÉDIAIRE 2009 à 0h TT

COORDONNÉES DU CIP X et Y, ANGLE s

Date	X	Y	s	Date	X	Y	s		
	"	"	"		"	"	"		
Oct.	3	201.279 93	4.555 29	0.000 58	Nov.	18	203.613 63	3.258 92	0.001 24
	4	201.276 09	4.531 71	0.000 59		19	203.713 97	3.219 11	0.001 26
	5	201.280 01	4.487 44	0.000 61		20	203.815 31	3.198 81	0.001 27
	6	201.299 80	4.427 20	0.000 64		21	203.910 87	3.195 95	0.001 27
	7	201.341 23	4.359 76	0.000 68		22	203.995 45	3.206 03	0.001 27
	8	201.405 79	4.296 28	0.000 71		23	204.065 90	3.223 03	0.001 26
	9	201.489 87	4.247 80	0.000 73		24	204.121 25	3.240 30	0.001 25
	10	201.585 07	4.222 32	0.000 75		25	204.162 66	3.251 19	0.001 25
	11	201.679 94	4.222 48	0.000 75		26	204.193 40	3.249 70	0.001 25
	12	201.762 74	4.244 47	0.000 74		27	204.218 78	3.231 10	0.001 26
	13	201.824 49	4.278 60	0.000 72		28	204.245 97	3.192 89	0.001 28
	14	201.861 48	4.311 57	0.000 71		29	204.283 34	3.135 84	0.001 31
	15	201.876 48	4.330 03	0.000 70		30	204.339 15	3.064 98	0.001 34
	16	201.878 08	4.324 39	0.000 70	Déc.	1	204.419 37	2.989 81	0.001 38
	17	201.878 09	4.291 50	0.000 72		2	204.525 05	2.923 02	0.001 41
	18	201.887 96	4.235 32	0.000 74		3	204.650 55	2.877 13	0.001 44
	19	201.915 58	4.165 12	0.000 78		4	204.783 93	2.860 08	0.001 45
	20	201.963 67	4.092 35	0.000 81		5	204.910 29	2.871 68	0.001 44
	21	202.030 02	4.027 44	0.000 85		6	205.016 78	2.903 24	0.001 43
	22	202.109 00	3.977 69	0.000 87		7	205.096 79	2.940 67	0.001 41
	23	202.193 43	3.946 52	0.000 89		8	205.151 46	2.969 35	0.001 39
	24	202.276 24	3.933 76	0.000 90		9	205.188 30	2.978 46	0.001 39
	25	202.351 42	3.936 46	0.000 89		10	205.218 19	2.963 27	0.001 40
	26	202.414 58	3.949 70	0.000 89		11	205.252 16	2.925 27	0.001 42
	27	202.463 21	3.967 34	0.000 88		12	205.298 96	2.870 83	0.001 44
	28	202.496 80	3.982 61	0.000 87		13	205.363 59	2.809 12	0.001 48
	29	202.517 03	3.988 66	0.000 87		14	205.446 89	2.749 98	0.001 51
	30	202.527 91	3.979 41	0.000 88		15	205.545 96	2.701 97	0.001 53
	31	202.535 76	3.950 47	0.000 89		16	205.655 14	2.670 96	0.001 55
Nov.	1	202.548 74	3.900 49	0.000 91		17	205.767 36	2.659 48	0.001 55
	2	202.575 63	3.832 29	0.000 95		18	205.875 54	2.666 62	0.001 55
	3	202.623 83	3.753 38	0.000 99		19	205.973 79	2.688 64	0.001 54
	4	202.696 88	3.675 03	0.001 03		20	206.058 10	2.719 84	0.001 52
	5	202.792 62	3.609 73	0.001 06		21	206.126 81	2.753 56	0.001 51
	6	202.902 92	3.567 47	0.001 08		22	206.180 53	2.783 10	0.001 49
	7	203.015 56	3.552 52	0.001 09		23	206.222 05	2.802 40	0.001 48
	8	203.117 71	3.561 82	0.001 09		24	206.256 05	2.806 73	0.001 48
	9	203.199 52	3.585 89	0.001 07		25	206.288 79	2.793 23	0.001 49
	10	203.256 80	3.611 69	0.001 06		26	206.327 71	2.761 61	0.001 51
	11	203.291 69	3.626 22	0.001 06		27	206.380 61	2.714 86	0.001 53
	12	203.311 72	3.619 87	0.001 06		28	206.454 31	2.659 82	0.001 56
	13	203.327 53	3.588 54	0.001 07		29	206.552 65	2.607 02	0.001 58
	14	203.350 01	3.534 24	0.001 10		30	206.674 10	2.569 02	0.001 60
	15	203.387 71	3.464 09	0.001 14		31	206.810 34	2.556 93	0.001 61
	16	203.445 04	3.388 19	0.001 17		32	206.947 15	2.575 73	0.001 60
	17	203.521 76	3.316 97	0.001 21		33	207.068 68	2.620 97	0.001 58

SOLEIL

Longitude, latitude, rayon vecteur	II. 22
Ascension droite et déclinaison apparentes, temps de passage	II. 26
Coordonnées rectangulaires (X, Y, Z)	II. 30

(1) Temps de passage au méridien des éphémérides (*cf.* § 8.1.3) dans l'échelle TT ou temps de passage au méridien de Greenwich dans l'échelle TU.

SOLEIL 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude	rayon v.	Date	longitude			latitude	rayon v.		
	°	'	"	"	ua		°	'	"	"	ua		
Janv.	0	279	33	21.88	+3.82	0.983 324 21	Févr.	15	326	18	29.27	+1.09	0.987 695 19
	1	280	34	32.13	+3.93	0.983 305 07		16	327	19	4.67	+1.02	0.987 900 82
	2	281	35	42.25	+4.02	0.983 290 20		17	328	19	38.87	+0.99	0.988 110 30
	3	282	36	52.19	+4.10	0.983 279 80		18	329	20	11.83	+0.98	0.988 323 30
	4	283	38	1.86	+4.15	0.983 274 10		19	330	20	43.51	+0.99	0.988 539 55
	5	284	39	11.22	+4.18	0.983 273 36		20	331	21	13.88	+1.02	0.988 758 73
	6	285	40	20.21	+4.17	0.983 277 89		21	332	21	42.89	+1.07	0.988 980 60
	7	286	41	28.80	+4.12	0.983 288 00		22	333	22	10.49	+1.13	0.989 204 88
	8	287	42	36.97	+4.05	0.983 304 03		23	334	22	36.60	+1.20	0.989 431 36
	9	288	43	44.73	+3.94	0.983 326 28		24	335	23	1.18	+1.26	0.989 659 83
	10	289	44	52.11	+3.79	0.983 355 01		25	336	23	24.14	+1.32	0.989 890 12
	11	290	45	59.13	+3.63	0.983 390 38		26	337	23	45.41	+1.36	0.990 122 10
	12	291	47	5.85	+3.45	0.983 432 44		27	338	24	4.92	+1.38	0.990 355 69
	13	292	48	12.32	+3.27	0.983 481 13		28	339	24	22.58	+1.38	0.990 590 89
14	293	49	18.56	+3.09	0.983 536 27	1	340	24	38.32	+1.35	0.990 827 72		
15	294	50	24.61	+2.93	0.983 597 62	2	341	24	52.07	+1.28	0.991 066 31		
16	295	51	30.47	+2.79	0.983 664 86	3	342	25	3.76	+1.19	0.991 306 80		
17	296	52	36.12	+2.67	0.983 737 68	4	343	25	13.35	+1.06	0.991 549 41		
18	297	53	41.54	+2.57	0.983 815 76	5	344	25	20.80	+0.90	0.991 794 38		
19	298	54	46.69	+2.51	0.983 898 82	6	345	25	26.09	+0.72	0.992 041 99		
20	299	55	51.52	+2.47	0.983 986 56	7	346	25	29.22	+0.52	0.992 292 48		
21	300	56	55.97	+2.47	0.984 078 73	8	347	25	30.22	+0.31	0.992 546 11		
22	301	57	59.99	+2.49	0.984 175 12	9	348	25	29.12	+0.10	0.992 803 05		
23	302	59	3.50	+2.53	0.984 275 50	10	349	25	25.97	+0.11	0.993 063 42		
24	304	0	6.43	+2.59	0.984 379 70	11	350	25	20.82	+0.30	0.993 327 25		
25	305	1	8.71	+2.66	0.984 487 56	12	351	25	13.74	+0.46	0.993 594 48		
26	306	2	10.24	+2.74	0.984 598 97	13	352	25	4.79	+0.61	0.993 864 95		
27	307	3	10.96	+2.83	0.984 713 83	14	353	24	54.01	+0.72	0.994 138 45		
28	308	4	10.77	+2.91	0.984 832 10	15	354	24	41.45	+0.80	0.994 414 72		
29	309	5	9.58	+2.98	0.984 953 78	16	355	24	27.12	+0.86	0.994 693 44		
30	310	6	7.32	+3.03	0.985 078 91	17	356	24	11.06	+0.88	0.994 974 30		
31	311	7	3.89	+3.07	0.985 207 59	18	357	23	53.26	+0.89	0.995 256 99		
Févr.	1	312	7	59.22	+3.07	0.985 339 95	19	358	23	33.73	+0.87	0.995 541 18	
	2	313	8	53.23	+3.05	0.985 476 18	20	359	23	12.45	+0.83	0.995 826 55	
	3	314	9	45.88	+2.99	0.985 616 51	21	0	22	49.43	+0.78	0.996 112 79	
	4	315	10	37.11	+2.90	0.985 761 21	22	1	22	24.63	+0.73	0.996 399 59	
	5	316	11	26.90	+2.77	0.985 910 55	23	2	21	58.02	+0.68	0.996 686 64	
	6	317	12	15.22	+2.62	0.986 064 85	24	3	21	29.58	+0.63	0.996 973 66	
	7	318	13	2.09	+2.44	0.986 224 35	25	4	20	59.25	+0.59	0.997 260 38	
	8	319	13	47.53	+2.24	0.986 389 29	26	5	20	26.98	+0.57	0.997 546 57	
	9	320	14	31.58	+2.04	0.986 559 81	27	6	19	52.72	+0.57	0.997 832 03	
	10	321	15	14.29	+1.83	0.986 735 93	28	7	19	16.40	+0.61	0.998 116 65	
	11	322	15	55.72	+1.64	0.986 917 59	29	8	18	37.95	+0.67	0.998 400 36	
	12	323	16	35.90	+1.46	0.987 104 61	30	9	17	57.30	+0.76	0.998 683 18	
	13	324	17	14.88	+1.31	0.987 296 76	31	10	17	14.39	+0.89	0.998 965 20	
	14	325	17	52.67	+1.18	0.987 493 72	Avril	1	11	16	29.17	+1.04	0.999 246 60

SOLEIL 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.			
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua			
Avril	2 12 15	41.62	-1.21	0.999 527 59	Mai	18 57 4	4.39	+3.77	0.011 492 55	
	3 13 14	51.70	-1.41	0.999 808 41		19 58 1	51.64	+3.71	0.011 703 08	
	4 14 13	59.43	-1.61	1.000 089 32		20 58 59	37.77	+3.67	0.011 909 75	
	5 15 13	4.82	-1.81	1.000 370 59		21 59 57	22.77	+3.65	0.012 112 23	
	6 16 12	7.90	-2.01	1.000 652 43		22 60 55	6.66	+3.66	0.012 310 19	
	7 17 11	8.72	-2.20	1.000 935 01		23 61 52	49.40	+3.70	0.012 503 35	
	8 18 10	7.35	-2.37	1.001 218 44		24 62 50	30.97	+3.78	0.012 691 44	
	9 19 9	3.85	-2.51	1.001 502 76		25 63 48	11.31	+3.88	0.012 874 29	
	10 20 7	58.30	-2.62	1.001 787 93		26 64 45	50.38	+4.00	0.013 051 82	
	11 21 6	50.76	-2.71	1.002 073 83		27 65 43	28.12	+4.15	0.013 224 07	
	12 22 5	41.30	-2.76	1.002 360 31		28 66 41	4.49	+4.30	0.013 391 16	
	13 23 4	29.97	-2.79	1.002 647 15		29 67 38	39.46	+4.46	0.013 553 32	
	14 24 3	16.82	-2.79	1.002 934 09		30 68 36	13.01	+4.61	0.013 710 83	
	15 25 2	1.90	-2.77	1.003 220 87		31 69 33	45.16	+4.75	0.013 863 98	
	16 26 0	45.24	-2.73	1.003 507 19		Juin	1 70 31	15.93	+4.87	0.014 013 08
	17 26 59	26.86	-2.68	1.003 792 76			2 71 28	45.36	+4.96	0.014 158 39
18 27 58	6.79	-2.62	1.004 077 26	3 72 26	13.50		+5.03	0.014 300 16		
19 28 56	45.04	-2.56	1.004 360 37	4 73 23	40.43		+5.06	0.014 438 58		
20 29 55	21.61	-2.50	1.004 641 79	5 74 21	6.20		+5.06	0.014 573 80		
21 30 53	56.51	-2.46	1.004 921 18	6 75 18	30.91		+5.04	0.014 705 93		
22 31 52	29.71	-2.43	1.005 198 22	7 76 15	54.63		+4.99	0.014 835 03		
23 32 51	1.20	-2.42	1.005 472 62	8 77 13	17.43		+4.91	0.014 961 09		
24 33 49	30.95	-2.43	1.005 744 09	9 78 10	39.41		+4.82	0.015 084 08		
25 34 47	58.90	-2.48	1.006 012 40	10 79 8	0.63		+4.71	0.015 203 94		
26 35 46	25.00	-2.55	1.006 277 40	11 80 5	21.18		+4.59	0.015 320 53		
27 36 44	49.19	-2.66	1.006 539 00	12 81 2	41.12		+4.47	0.015 433 73		
28 37 43	11.43	-2.79	1.006 797 23	13 82 0	0.53		+4.35	0.015 543 34		
29 38 41	31.64	-2.95	1.007 052 19	14 82 57	19.46		+4.24	0.015 649 17		
30 39 39	49.80	-3.12	1.007 304 06	15 83 54	37.98		+4.14	0.015 750 98		
Mai	1 40 38	5.89	-3.30	1.007 553 10	16 84 51		56.14	+4.06	0.015 848 52	
	2 41 36	19.90	-3.49	1.007 799 57	17 85 49	13.97	+4.01	0.015 941 50		
	3 42 34	31.86	-3.67	1.008 043 75	18 86 46	31.51	+3.98	0.016 029 60		
	4 43 32	41.78	-3.83	1.008 285 89	19 87 43	48.78	+3.97	0.016 112 52		
	5 44 30	49.73	-3.98	1.008 526 22	20 88 41	5.79	+4.00	0.016 189 93		
	6 45 28	55.75	-4.10	1.008 764 91	21 89 38	22.52	+4.06	0.016 261 52		
	7 46 26	59.93	-4.19	1.009 002 09	22 90 35	38.95	+4.15	0.016 327 03		
	8 47 25	2.33	-4.26	1.009 237 80	23 91 32	55.03	+4.26	0.016 386 29		
	9 48 23	3.04	-4.29	1.009 472 07	24 92 30	10.72	+4.38	0.016 439 23		
	10 49 21	2.12	-4.30	1.009 704 83	25 93 27	25.96	+4.51	0.016 485 91		
	11 50 18	59.66	-4.28	1.009 935 98	26 94 24	40.72	+4.64	0.016 526 49		
	12 51 16	55.72	-4.23	1.010 165 37	27 95 21	54.95	+4.75	0.016 561 23		
	13 52 14	50.37	-4.17	1.010 392 81	28 96 19	8.67	+4.84	0.016 590 43		
	14 53 12	43.67	-4.10	1.010 618 09	29 97 16	21.87	+4.91	0.016 614 41		
	15 54 10	35.68	-4.01	1.010 840 97	30 98 13	34.58	+4.95	0.016 633 51		
	16 55 8	26.45	-3.93	1.011 061 20	Juill.	1 99 10	46.85	+4.96	0.016 648 01	
17 56 6	16.01	-3.84	1.011 278 49	2 100 7		58.73	+4.93	0.016 658 18		

SOLEIL 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et éclipse moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.					
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua					
Juill.	3	101 5	10.29	-4.88	1.016 664 25	Août	18	145 3	52.81	+2.03	0.012 277 50	
	4	102 2	21.58	-4.80	1.016 666 41		19	146 1	37.14	+2.10	0.012 086 43	
	5	102 59	32.68	-4.69	1.016 664 82		20	146 59	22.93	+2.17	0.011 890 33	
	6	103 56	43.68	-4.57	1.016 659 59		21	147 57	10.11	+2.23	0.011 689 17	
	7	104 53	54.64	-4.43	1.016 650 79		22	148 54	58.64	+2.26	0.011 483 04	
	8	105 51	5.66	-4.27	1.016 638 46		23	149 52	48.46	+2.27	0.011 272 13	
	9	106 48	16.80	-4.12	1.016 622 60		24	150 50	39.54	+2.25	0.011 056 72	
	10	107 45	28.16	-3.96	1.016 603 17		25	151 48	31.86	+2.19	0.010 837 11	
	11	108 42	39.80	-3.81	1.016 580 09		26	152 46	25.40	+2.11	0.010 613 66	
	12	109 39	51.80	-3.67	1.016 553 24		27	153 44	20.17	+1.99	0.010 386 71	
	13	110 37	4.24	-3.55	1.016 522 48		28	154 42	16.21	+1.85	0.010 156 60	
	14	111 34	17.18	-3.46	1.016 487 62		29	155 40	13.52	+1.69	0.009 923 64	
	15	112 31	30.67	-3.38	1.016 448 43		30	156 38	12.15	+1.51	0.009 688 14	
	16	113 28	44.77	-3.34	1.016 404 68		31	157 36	12.14	+1.31	0.009 450 36	
	17	114 25	59.53	-3.33	1.016 356 06		Sept.	1	158 34	13.54	+1.11	0.009 210 57
	18	115 23	14.95	-3.35	1.016 302 28		2	159 32	16.41	+0.91	0.008 969 00	
	19	116 20	31.06	-3.39	1.016 243 03		3	160 30	20.79	+0.72	0.008 725 86	
20	117 17	47.85	-3.46	1.016 178 00	4	161 28	26.76	+0.53	0.008 481 32			
21	118 15	5.28	-3.55	1.016 106 96	5	162 26	34.39	+0.36	0.008 235 52			
22	119 12	23.33	-3.65	1.016 029 74	6	163 24	43.74	+0.21	0.007 988 55			
23	120 9	41.92	-3.74	1.015 946 29	7	164 22	54.88	+0.08	0.007 740 47			
24	121 7	1.02	-3.83	1.015 856 70	8	165 21	7.90	+0.02	0.007 491 26			
25	122 4	20.58	-3.91	1.015 761 15	9	166 19	22.86	+0.08	0.007 240 88			
26	123 1	40.57	-3.95	1.015 659 91	10	167 17	39.82	+0.12	0.006 989 21			
27	123 59	0.97	-3.97	1.015 553 30	11	168 15	58.84	+0.13	0.006 736 07			
28	124 56	21.80	-3.96	1.015 441 66	12	169 14	19.97	+0.12	0.006 481 27			
29	125 53	43.08	-3.92	1.015 325 35	13	170 12	43.23	+0.08	0.006 224 55			
30	126 51	4.83	-3.84	1.015 204 66	14	171 11	8.64	+0.03	0.005 965 64			
31	127 48	27.11	-3.74	1.015 079 90	15	172 9	36.20	+0.03	0.005 704 29			
Août	1	128 45	49.96	-3.61	1.014 951 34	16	173 8	5.88	+0.08	0.005 440 23		
2	129 43	13.45	-3.46	1.014 819 22	17	174 6	37.65	+0.13	0.005 173 28			
3	130 40	37.63	-3.29	1.014 683 73	18	175 5	11.45	+0.16	0.004 903 33			
4	131 38	2.59	-3.11	1.014 545 05	19	176 3	47.22	+0.17	0.004 630 35			
5	132 35	28.38	-2.93	1.014 403 32	20	177 2	24.88	+0.15	0.004 354 44			
6	133 32	55.08	-2.74	1.014 258 66	21	178 1	4.39	+0.09	0.004 075 77			
7	134 30	22.78	-2.56	1.014 111 14	22	178 59	45.70	+0.01	0.003 794 58			
8	135 27	51.55	-2.39	1.013 960 77	23	179 58	28.75	+0.10	0.003 511 18			
9	136 25	21.46	-2.24	1.013 807 56	24	180 57	13.54	+0.24	0.003 225 88			
10	137 22	52.60	-2.11	1.013 651 44	25	181 56	0.05	+0.41	0.002 939 02			
11	138 20	25.03	-2.00	1.013 492 31	26	182 54	48.27	+0.59	0.002 650 94			
12	139 17	58.82	-1.92	1.013 330 04	27	183 53	38.21	+0.78	0.002 361 95			
13	140 15	34.04	-1.88	1.013 164 44	28	184 52	29.88	+0.98	0.002 072 39			
14	141 13	10.73	-1.86	1.012 995 27	29	185 51	23.30	+1.18	0.001 782 55			
15	142 10	48.94	-1.87	1.012 822 28	30	186 50	18.50	+1.38	0.001 492 74			
16	143 8	28.69	-1.90	1.012 645 18	Oct.	1	187 49	15.52	+1.56	0.001 203 22		
17	144 6	9.98	-1.96	1.012 463 67	2	188 48	14.38	+1.74	0.000 914 27			

SOLEIL 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude	latitude	rayon v.	Date	longitude	latitude	rayon v.			
	° ' "	"	ua		° ' "	"	ua			
Oct.	3	189 47 15.14	+1.89	1.000 626 12	Nov.	18	235 38 25.36	+3.81	0.988 587 42	
	4	190 46 17.86	+2.02	1.000 338 96		19	236 38 57.69	+3.95	0.988 376 09	
	5	191 45 22.59	+2.12	1.000 052 96		20	237 39 31.42	+4.10	0.988 167 08	
	6	192 44 29.39	+2.19	0.999 768 21		21	238 40 6.49	+4.26	0.987 960 60	
	7	193 43 38.33	+2.22	0.999 484 75		22	239 40 42.83	+4.42	0.987 756 89	
	8	194 42 49.48	+2.23	0.999 202 54		23	240 41 20.40	+4.57	0.987 556 21	
	9	195 42 2.88	+2.22	0.998 921 48		24	241 41 59.15	+4.72	0.987 358 82	
	10	196 41 18.58	+2.18	0.998 641 40		25	242 42 39.03	+4.85	0.987 165 01	
	11	197 40 36.62	+2.13	0.998 362 11		26	243 43 20.01	+4.96	0.986 975 07	
	12	198 39 57.02	+2.07	0.998 083 35		27	244 44 2.06	+5.05	0.986 789 30	
	13	199 39 19.76	+2.01	0.997 804 86		28	245 44 45.17	+5.11	0.986 608 01	
	14	200 38 44.84	+1.95	0.997 526 38		29	246 45 29.33	+5.13	0.986 431 52	
	15	201 38 12.21	+1.92	0.997 247 71		30	247 46 14.53	+5.13	0.986 260 12	
	16	202 37 41.82	+1.90	0.996 968 65		Déc.	1	248 47 0.81	+5.09	0.986 094 09
	17	203 37 13.61	+1.91	0.996 689 11			2	249 47 48.18	+5.02	0.985 933 65
	18	204 36 47.50	+1.95	0.996 409 06			3	250 48 36.70	+4.92	0.985 778 97
	19	205 36 23.42	+2.02	0.996 128 57			4	251 49 26.39	+4.81	0.985 630 11
20	206 36 1.30	+2.12	0.995 847 78	5	252 50 17.32		+4.68	0.985 487 03		
21	207 35 41.07	+2.24	0.995 566 88	6	253 51 9.52		+4.55	0.985 349 59		
22	208 35 22.67	+2.39	0.995 286 12	7	254 52 3.02		+4.43	0.985 217 57		
23	209 35 6.06	+2.55	0.995 005 79	8	255 52 57.81		+4.32	0.985 090 71		
24	210 34 51.21	+2.73	0.994 726 18	9	256 53 53.88		+4.23	0.984 968 70		
25	211 34 38.07	+2.92	0.994 447 60	10	257 54 51.21		+4.17	0.984 851 26		
26	212 34 26.63	+3.11	0.994 170 37	11	258 55 49.75		+4.14	0.984 738 09		
27	213 34 16.88	+3.29	0.993 894 80	12	259 56 49.43		+4.14	0.984 628 96		
28	214 34 8.81	+3.46	0.993 621 20	13	260 57 50.18		+4.17	0.984 523 66		
29	215 34 2.41	+3.62	0.993 349 89	14	261 58 51.92		+4.22	0.984 422 04		
30	216 33 57.70	+3.76	0.993 081 17	15	262 59 54.56		+4.30	0.984 324 01		
31	217 33 54.69	+3.87	0.992 815 35	16	264 0 58.02		+4.40	0.984 229 51		
Nov.	1	218 33 53.41	+3.95	0.992 552 69	17		265 2 2.19	+4.51	0.984 138 54	
	2	219 33 53.89	+4.01	0.992 293 46	18	266 3 7.01	+4.64	0.984 051 16		
	3	220 33 56.18	+4.03	0.992 037 86	19	267 4 12.37	+4.76	0.983 967 45		
	4	221 34 0.33	+4.02	0.991 786 00	20	268 5 18.19	+4.88	0.983 887 55		
	5	222 34 6.39	+3.98	0.991 537 96	21	269 6 24.41	+5.00	0.983 811 60		
	6	223 34 14.42	+3.92	0.991 293 71	22	270 7 30.94	+5.10	0.983 739 79		
	7	224 34 24.46	+3.85	0.991 053 13	23	271 8 37.72	+5.17	0.983 672 32		
	8	225 34 36.54	+3.76	0.990 816 05	24	272 9 44.69	+5.23	0.983 609 42		
	9	226 34 50.68	+3.68	0.990 582 23	25	273 10 51.80	+5.25	0.983 551 33		
	10	227 35 6.89	+3.60	0.990 351 42	26	274 11 58.99	+5.25	0.983 498 33		
	11	228 35 25.14	+3.53	0.990 123 33	27	275 13 6.24	+5.21	0.983 450 69		
	12	229 35 45.39	+3.49	0.989 897 72	28	276 14 13.51	+5.14	0.983 408 71		
	13	230 36 7.60	+3.47	0.989 674 36	29	277 15 20.80	+5.04	0.983 372 69		
	14	231 36 31.69	+3.48	0.989 453 08	30	278 16 28.10	+4.91	0.983 342 91		
	15	232 36 57.60	+3.52	0.989 233 77	31	279 17 35.45	+4.76	0.983 319 61		
	16	233 37 25.24	+3.59	0.989 016 36	32	280 18 42.86	+4.59	0.983 302 95		
	17	234 37 54.52	+3.69	0.988 800 89	33	281 19 50.40	+4.42	0.983 292 99		

SOLEIL 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Janvr.	0	18	42	7.590	-23	5	11.55	12	3	11.40	Févr.	15	21	54	40.181	-12	42	19.70	12	14	6.44
	1	18	46	32.729	-23	0	30.79	12	3	39.83		16	21	58	33.538	-12	21	38.11	12	14	2.89
	2	18	50	57.536	-22	55	22.48	12	4	7.92		17	22	2	26.202	-12	0	44.50	12	13	58.65
	3	18	55	21.978	-22	49	46.79	12	4	35.62		18	22	6	18.185	-11	39	39.31	12	13	53.73
	4	18	59	46.024	-22	43	43.88	12	5	2.91		19	22	10	9.498	-11	18	22.96	12	13	48.15
	5	19	4	9.646	-22	37	13.96	12	5	29.76		20	22	14	0.154	-10	56	55.87	12	13	41.91
	6	19	8	32.815	-22	30	17.21	12	5	56.15		21	22	17	50.163	-10	35	18.48	12	13	35.04
	7	19	12	55.506	-22	22	53.86	12	6	22.03		22	22	21	39.540	-10	13	31.19	12	13	27.54
	8	19	17	17.695	-22	15	4.15	12	6	47.40		23	22	25	28.294	-9	51	34.46	12	13	19.43
	9	19	21	39.357	-22	6	48.30	12	7	12.23		24	22	29	16.441	-9	29	28.69	12	13	10.73
	10	19	26	0.470	-21	58	6.57	12	7	36.49		25	22	33	3.992	-9	7	14.33	12	13	1.43
	11	19	30	21.012	-21	48	59.20	12	8	0.18		26	22	36	50.962	-8	44	51.79	12	12	51.57
	12	19	34	40.963	-21	39	26.43	12	8	23.27		27	22	40	37.365	-8	22	21.49	12	12	41.14
	13	19	39	0.306	-21	29	28.50	12	8	45.74		28	22	44	23.217	-7	59	43.87	12	12	30.17
14	19	43	19.024	-21	19	5.65	12	9	7.59	Mars	1	22	48	8.533	-7	36	59.33	12	12	18.67	
15	19	47	37.103	-21	8	18.15	12	9	28.80		2	22	51	53.330	-7	14	8.29	12	12	6.66	
16	19	51	54.529	-20	57	6.26	12	9	49.34		3	22	55	37.624	-6	51	11.17	12	11	54.15	
17	19	56	11.288	-20	45	30.29	12	10	9.21		4	22	59	21.432	-6	28	8.38	12	11	41.16	
18	20	0	27.365	-20	33	30.54	12	10	28.38		5	23	3	4.770	-6	5	0.32	12	11	27.70	
19	20	4	42.745	-20	21	7.36	12	10	46.85		6	23	6	47.655	-5	41	47.40	12	11	13.80	
20	20	8	57.412	-20	8	21.07	12	11	4.60		7	23	10	30.106	-5	18	30.00	12	10	59.48	
21	20	13	11.353	-19	55	12.02	12	11	21.61		8	23	14	12.142	-4	55	8.50	12	10	44.76	
22	20	17	24.552	-19	41	40.59	12	11	37.86		9	23	17	53.785	-4	31	43.26	12	10	29.67	
23	20	21	36.996	-19	27	47.13	12	11	53.36		10	23	21	35.058	-4	8	14.63	12	10	14.22	
24	20	25	48.670	-19	13	32.04	12	12	8.08		11	23	25	15.986	-3	44	42.93	12	9	58.44	
25	20	29	59.563	-18	58	55.68	12	12	22.01		12	23	28	56.596	-3	21	8.52	12	9	42.35	
26	20	34	9.662	-18	43	58.45	12	12	35.15		13	23	32	36.914	-2	57	31.72	12	9	25.99	
27	20	38	18.957	-18	28	40.76	12	12	47.48		14	23	36	16.965	-2	33	52.87	12	9	9.36	
28	20	42	27.440	-18	13	2.99	12	12	58.99	15	23	39	56.772	-2	10	12.33	12	8	52.51		
29	20	46	35.102	-17	57	5.56	12	13	9.68	16	23	43	36.359	-1	46	30.45	12	8	35.44		
30	20	50	41.939	-17	40	48.87	12	13	19.55	17	23	47	15.746	-1	22	47.60	12	8	18.18		
Févr.	31	20	54	47.945	-17	24	13.33	12	13	28.58	18	23	50	54.956	-0	59	4.14	12	8	0.75	
	1	20	58	53.119	-17	7	19.37	12	13	36.78	19	23	54	34.008	-0	35	20.45	12	7	43.18	
	2	21	2	57.460	-16	50	7.39	12	13	44.15	20	23	58	12.921	-0	11	36.91	12	7	25.47	
	3	21	7	0.969	-16	32	37.81	12	13	50.68	21	0	1	51.715	0	12	6.12	12	7	7.66	
	4	21	11	3.648	-16	14	51.07	12	13	56.37	22	0	5	30.409	0	35	48.25	12	6	49.76	
	5	21	15	5.499	-15	56	47.58	12	14	1.24	23	0	9	9.021	0	59	29.11	12	6	31.79	
	6	21	19	6.527	-15	38	27.77	12	14	5.28	24	0	12	47.571	1	23	8.31	12	6	13.77	
	7	21	23	6.736	-15	19	52.04	12	14	8.51	25	0	16	26.076	1	46	45.49	12	5	55.72	
	8	21	27	6.134	-15	1	0.80	12	14	10.94	26	0	20	4.555	2	10	20.25	12	5	37.65	
	9	21	31	4.729	-14	41	54.43	12	14	12.57	27	0	23	43.026	2	33	52.22	12	5	19.58	
	10	21	35	2.532	-14	22	33.32	12	14	13.42	28	0	27	21.508	2	57	21.04	12	5	1.53	
	11	21	38	59.558	-14	2	57.83	12	14	13.51	29	0	31	0.016	3	20	46.32	12	4	43.51	
	12	21	42	55.820	-13	43	8.34	12	14	12.84	30	0	34	38.568	3	44	7.69	12	4	25.54	
	13	21	46	51.335	-13	23	5.23	12	14	11.43	31	0	38	17.179	4	7	24.77	12	4	7.63	
14	21	50	46.117	-13	2	48.88	12	14	9.30	Avril	1	0	41	55.866	4	30	37.21	12	3	49.80	

SOLEIL 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage				
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s		
Avril	2	0	45	34.642	4	53	44.63	12	3	32.07	Mai	18	3	39	38.840	19	31	58.71	11	56	24.83
	3	0	49	13.524	5	16	46.67	12	3	14.45		19	3	43	37.934	19	45	1.78	11	56	27.65
	4	0	52	52.528	5	39	42.98	12	2	56.97		20	3	47	37.595	19	57	44.69	11	56	31.04
	5	0	56	31.674	6	2	33.22	12	2	39.65		21	3	51	37.816	20	10	7.15	11	56	34.99
	6	1	0	10.980	6	25	17.07	12	2	22.50		22	3	55	38.589	20	22	8.93	11	56	39.48
	7	1	3	50.469	6	47	54.20	12	2	5.54		23	3	59	39.905	20	33	49.75	11	56	44.50
	8	1	7	30.164	7	10	24.31	12	1	48.80		24	4	3	41.750	20	45	9.38	11	56	50.04
	9	1	11	10.088	7	32	47.10	12	1	32.31		25	4	7	44.110	20	56	7.59	11	56	56.09
	10	1	14	50.263	7	55	2.26	12	1	16.07		26	4	11	46.966	21	6	44.14	11	57	2.62
	11	1	18	30.712	8	17	9.49	12	1	0.11		27	4	15	50.298	21	16	58.79	11	57	9.61
	12	1	22	11.455	8	39	8.46	12	0	44.46		28	4	19	54.086	21	26	51.33	11	57	17.06
13	1	25	52.512	9	0	58.87	12	0	29.12	29	4	23	58.311	21	36	21.53	11	57	24.93		
14	1	29	33.900	9	22	40.38	12	0	14.13	30	4	28	2.955	21	45	29.18	11	57	33.23		
15	1	33	15.638	9	44	12.66	11	59	59.49	31	4	32	8.004	21	54	14.09	11	57	41.92		
16	1	36	57.740	10	5	35.37	11	59	45.22	Juin	1	4	36	13.443	22	2	36.07	11	57	51.00	
17	1	40	40.223	10	26	48.17	11	59	31.35	2	4	40	19.260	22	10	34.98	11	58	0.45		
18	1	44	23.101	10	47	50.71	11	59	17.88	3	4	44	25.440	22	18	10.64	11	58	10.26		
19	1	48	6.389	11	8	42.66	11	59	4.82	4	4	48	31.970	22	25	22.93	11	58	20.40		
20	1	51	50.100	11	29	23.66	11	58	52.20	5	4	52	38.836	22	32	11.69	11	58	30.87		
21	1	55	34.248	11	49	53.36	11	58	40.02	6	4	56	46.022	22	38	36.80	11	58	41.65		
22	1	59	18.844	12	10	11.43	11	58	28.30	7	5	0	53.513	22	44	38.13	11	58	52.73		
23	2	3	3.901	12	30	17.51	11	58	17.05	8	5	5	1.292	22	50	15.56	11	59	4.08		
24	2	6	49.429	12	50	11.25	11	58	6.27	9	5	9	9.340	22	55	28.96	11	59	15.70		
25	2	10	35.438	13	9	52.32	11	57	55.96	10	5	13	17.640	23	0	18.23	11	59	27.56		
26	2	14	21.936	13	29	20.37	11	57	46.15	11	5	17	26.173	23	4	43.24	11	59	39.64		
27	2	18	8.927	13	48	35.07	11	57	36.83	12	5	21	34.920	23	8	43.90	11	59	51.93		
28	2	21	56.417	14	7	36.06	11	57	28.01	13	5	25	43.860	23	12	20.11	12	0	4.41		
29	2	25	44.408	14	26	23.01	11	57	19.69	14	5	29	52.975	23	15	31.78	12	0	17.05		
30	2	29	32.903	14	44	55.58	11	57	11.87	15	5	34	2.243	23	18	18.83	12	0	29.84		
Mai	1	2	33	21.904	15	3	13.43	11	57	4.57	16	5	38	11.645	23	20	41.18	12	0	42.75	
2	2	37	11.417	15	21	16.23	11	56	57.78	17	5	42	21.159	23	22	38.77	12	0	55.76		
3	2	41	1.448	15	39	3.69	11	56	51.52	18	5	46	30.764	23	24	11.57	12	1	8.85		
4	2	44	52.005	15	56	35.49	11	56	45.79	19	5	50	40.437	23	25	19.53	12	1	21.99		
5	2	48	43.096	16	13	51.33	11	56	40.61	20	5	54	50.153	23	26	2.65	12	1	35.16		
6	2	52	34.731	16	30	50.95	11	56	35.97	21	5	58	59.887	23	26	20.92	12	1	48.33		
7	2	56	26.918	16	47	34.06	11	56	31.88	22	6	3	9.609	23	26	14.35	12	2	1.47		
8	3	0	19.665	17	4	0.39	11	56	28.35	23	6	7	19.288	23	25	42.97	12	2	14.55		
9	3	4	12.980	17	20	9.65	11	56	25.40	24	6	11	28.891	23	24	46.81	12	2	27.53		
10	3	8	6.867	17	36	1.58	11	56	23.01	25	6	15	38.385	23	23	25.91	12	2	40.40		
11	3	12	1.332	17	51	35.89	11	56	21.20	26	6	19	47.742	23	21	40.30	12	2	53.12		
12	3	15	56.376	18	6	52.30	11	56	19.97	27	6	23	56.932	23	19	30.05	12	3	5.67		
13	3	19	52.001	18	21	50.51	11	56	19.33	28	6	28	5.933	23	16	55.20	12	3	18.02		
14	3	23	48.209	18	36	30.25	11	56	19.27	29	6	32	14.722	23	13	55.84	12	3	30.14		
15	3	27	44.998	18	50	51.23	11	56	19.79	30	6	36	23.278	23	10	32.06	12	3	42.02		
16	3	31	42.368	19	4	53.15	11	56	20.89	Juill.	1	6	40	31.581	23	6	43.97	12	3	53.64	
17	3	35	40.316	19	18	35.74	11	56	22.57	2	6	44	39.613	23	2	31.67	12	4	4.97		

SOLEIL 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage					
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s			
Juill.	3	6	48	47.354	22	57	55.28	12	4	16.00	Août	18	9	49	53.718	13	7	20.04	12	3	48.54	
	4	6	52	54.785	22	52	54.93	12	4	26.71		19	9	53	36.850	12	47	52.03	12	3	34.87	
	5	6	57	1.890	22	47	30.73	12	4	37.08		20	9	57	19.494	12	28	11.85	12	3	20.72	
	6	7	1	8.649	22	41	42.83	12	4	47.10		21	10	1	1.658	12	8	19.84	12	3	6.10	
	7	7	5	15.046	22	35	31.35	12	4	56.74		22	10	4	43.351	11	48	16.34	12	2	51.02	
	8	7	9	21.065	22	28	56.45	12	5	6.01		23	10	8	24.584	11	28	1.69	12	2	35.48	
	9	7	13	26.690	22	21	58.25	12	5	14.87		24	10	12	5.367	11	7	36.24	12	2	19.49	
	10	7	17	31.906	22	14	36.91	12	5	23.32		25	10	15	45.715	10	47	0.30	12	2	3.08	
	11	7	21	36.700	22	6	52.59	12	5	31.34		26	10	19	25.639	10	26	14.22	12	1	46.24	
	12	7	25	41.058	21	58	45.44	12	5	38.93		27	10	23	5.154	10	5	18.33	12	1	29.00	
	13	7	29	44.969	21	50	15.64	12	5	46.06		28	10	26	44.274	9	44	12.96	12	1	11.38	
	14	7	33	48.422	21	41	23.35	12	5	52.73		29	10	30	23.014	9	22	58.42	12	0	53.38	
	15	7	37	51.404	21	32	8.77	12	5	58.92		30	10	34	1.389	9	1	35.04	12	0	35.02	
	16	7	41	53.906	21	22	32.10	12	6	4.62		31	10	37	39.417	8	40	3.14	12	0	16.33	
	17	7	45	55.916	21	12	33.53	12	6	9.82		Sept.	1	10	41	17.114	8	18	23.01	11	59	57.32
	18	7	49	57.424	21	2	13.31	12	6	14.50		2	10	44	54.498	7	56	34.97	11	59	38.00	
	19	7	53	58.416	20	51	31.65	12	6	18.66		3	10	48	31.589	7	34	39.33	11	59	18.41	
20	7	57	58.879	20	40	28.83	12	6	22.29	4	10	52	8.407	7	12	36.37	11	58	58.55			
21	8	1	58.795	20	29	5.10	12	6	25.36	5	10	55	44.973	6	50	26.40	11	58	38.46			
22	8	5	58.149	20	17	20.74	12	6	27.86	6	10	59	21.308	6	28	9.70	11	58	18.15			
23	8	9	56.925	20	5	16.01	12	6	29.78	7	11	2	57.435	6	5	46.58	11	57	57.64			
24	8	13	55.108	19	52	51.17	12	6	31.11	8	11	6	33.378	5	43	17.32	11	57	36.95			
25	8	17	52.690	19	40	6.52	12	6	31.83	9	11	10	9.158	5	20	42.23	11	57	16.11			
26	8	21	49.662	19	27	2.30	12	6	31.94	10	11	13	44.799	4	58	1.60	11	56	55.14			
27	8	25	46.020	19	13	38.81	12	6	31.44	11	11	17	20.322	4	35	15.75	11	56	34.06			
28	8	29	41.760	18	59	56.33	12	6	30.31	12	11	20	55.748	4	12	25.00	11	56	12.89			
29	8	33	36.880	18	45	55.14	12	6	28.56	13	11	24	31.095	3	49	29.69	11	55	51.64			
30	8	37	31.378	18	31	35.54	12	6	26.19	14	11	28	6.381	3	26	30.16	11	55	30.35			
31	8	41	25.254	18	16	57.80	12	6	23.19	15	11	31	41.623	3	3	26.77	11	55	9.03			
Août	1	8	45	18.508	18	2	2.22	12	6	19.57	16	11	35	16.837	2	40	19.87	11	54	47.68		
2	8	49	11.141	17	46	49.08	12	6	15.33	17	11	38	52.040	2	17	9.83	11	54	26.34			
3	8	53	3.156	17	31	18.66	12	6	10.48	18	11	42	27.248	1	53	57.00	11	54	5.02			
4	8	56	54.556	17	15	31.24	12	6	5.01	19	11	46	2.480	1	30	41.75	11	53	43.73			
5	9	0	45.345	16	59	27.11	12	5	58.94	20	11	49	37.752	1	7	24.44	11	53	22.48			
6	9	4	35.528	16	43	6.53	12	5	52.26	21	11	53	13.082	0	44	5.41	11	53	1.31			
7	9	8	25.113	16	26	29.80	12	5	45.00	22	11	56	48.488	0	20	45.04	11	52	40.21			
8	9	12	14.107	16	9	37.17	12	5	37.15	23	12	0	23.988	-	0	2	36.33	11	52	19.21		
9	9	16	2.518	15	52	28.94	12	5	28.72	24	12	3	59.599	-	0	25	58.34	11	51	58.33		
10	9	19	50.358	15	35	5.38	12	5	19.73	25	12	7	35.339	-	0	49	20.64	11	51	37.59		
11	9	23	37.635	15	17	26.76	12	5	10.18	26	12	11	11.227	-	1	12	42.87	11	51	17.00		
12	9	27	24.362	14	59	33.38	12	5	0.08	27	12	14	47.282	-	1	36	4.70	11	50	56.59		
13	9	31	10.549	14	41	25.52	12	4	49.45	28	12	18	23.524	-	1	59	25.77	11	50	36.39		
14	9	34	56.206	14	23	3.49	12	4	38.28	29	12	21	59.974	-	2	22	45.76	11	50	16.40		
15	9	38	41.344	14	4	27.60	12	4	26.60	30	12	25	36.651	-	2	46	4.32	11	49	56.65		
16	9	42	25.970	13	45	38.17	12	4	14.41	Oct.	1	12	29	13.580	-	3	9	21.11	11	49	37.16	
17	9	46	10.093	13	26	35.54	12	4	1.72	2	12	32	50.781	-	3	32	35.81	11	49	17.97		

SOLEIL 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, TEMPS DE PASSAGE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			t. passage			Date	asc. droite			déclinaison			t. passage					
	h	m	s	°	'	"	h	m	s		h	m	s	°	'	"	h	m	s			
Oct.	3	12	36	28.280	- 3	55	48.08	11	48	59.08	Nov.	18	15	33	47.462	-19	12	7.11	11	45	12.24	
	4	12	40	6.099	- 4	18	57.60	11	48	40.52		19	15	37	56.964	-19	26	16.95	11	45	25.58	
	5	12	43	44.264	- 4	42	4.06	11	48	22.32		20	15	42	7.281	-19	40	5.73	11	45	39.73	
	6	12	47	22.799	- 5	5	7.11	11	48	4.50		21	15	46	18.400	-19	53	33.09	11	45	54.68	
	7	12	51	1.730	- 5	28	6.43	11	47	47.08		22	15	50	30.308	-20	6	38.65	11	46	10.42	
	8	12	54	41.080	- 5	51	1.68	11	47	30.09		23	15	54	42.991	-20	19	22.06	11	46	26.92	
	9	12	58	20.871	- 6	13	52.52	11	47	13.55		24	15	58	56.438	-20	31	42.95	11	46	44.19	
	10	13	2	1.125	- 6	36	38.58	11	46	57.48		25	16	3	10.633	-20	43	41.00	11	47	2.19	
	11	13	5	41.860	- 6	59	19.49	11	46	41.90		26	16	7	25.563	-20	55	15.87	11	47	20.93	
	12	13	9	23.096	- 7	21	54.87	11	46	26.83		27	16	11	41.214	-21	6	27.22	11	47	40.39	
	13	13	13	4.851	- 7	44	24.32	11	46	12.29		28	16	15	57.571	-21	17	14.76	11	48	0.54	
	14	13	16	47.141	- 8	6	47.44	11	45	58.30		29	16	20	14.619	-21	27	38.19	11	48	21.37	
	15	13	20	29.983	- 8	29	3.84	11	45	44.88		30	16	24	32.345	-21	37	37.21	11	48	42.87	
	16	13	24	13.394	- 8	51	13.11	11	45	32.03		Déc.	1	16	28	50.732	-21	47	11.55	11	49	5.02
	17	13	27	57.390	- 9	13	14.85	11	45	19.77			2	16	33	9.764	-21	56	20.94	11	49	27.81
	18	13	31	41.986	- 9	35	8.65	11	45	8.12			3	16	37	29.424	-22	5	5.12	11	49	51.21
	19	13	35	27.196	- 9	56	54.12	11	44	57.08			4	16	41	49.693	-22	13	23.83	11	50	15.21
20	13	39	13.033	-10	18	30.85	11	44	46.67	5	16		46	10.549	-22	21	16.81	11	50	39.79		
21	13	42	59.507	-10	39	58.43	11	44	36.91	6	16		50	31.972	-22	28	43.80	11	51	4.93		
22	13	46	46.632	-11	1	16.46	11	44	27.80	7	16		54	53.937	-22	35	44.54	11	51	30.61		
23	13	50	34.418	-11	22	24.53	11	44	19.35	8	16	59	16.423	-22	42	18.78	11	51	56.80			
24	13	54	22.878	-11	43	22.24	11	44	11.59	9	17	3	39.404	-22	48	26.30	11	52	23.47			
25	13	58	12.022	-12	4	9.17	11	44	4.51	10	17	8	2.854	-22	54	6.89	11	52	50.60			
26	14	2	1.864	-12	24	44.95	11	43	58.15	11	17	12	26.746	-22	59	20.34	11	53	18.15			
27	14	5	52.416	-12	45	9.16	11	43	52.50	12	17	16	51.048	-23	4	6.50	11	53	46.10			
28	14	9	43.690	-13	5	21.41	11	43	47.58	13	17	21	15.729	-23	8	25.18	11	54	14.41			
29	14	13	35.700	-13	25	21.31	11	43	43.40	14	17	25	40.754	-23	12	16.26	11	54	43.04			
30	14	17	28.458	-13	45	8.47	11	43	39.98	15	17	30	6.086	-23	15	39.60	11	55	11.96			
31	14	21	21.980	-14	4	42.51	11	43	37.34	16	17	34	31.689	-23	18	35.08	11	55	41.12			
Nov.	1	14	25	16.278	-14	24	3.04	11	43	35.47	17	17	38	57.524	-23	21	2.62	11	56	10.51		
	2	14	29	11.367	-14	43	9.69	11	43	34.40	18	17	43	23.553	-23	23	2.11	11	56	40.06		
	3	14	33	7.261	-15	2	2.09	11	43	34.13	19	17	47	49.738	-23	24	33.49	11	57	9.76		
	4	14	37	3.973	-15	20	39.85	11	43	34.69	20	17	52	16.040	-23	25	36.69	11	57	39.56		
	5	14	41	1.514	-15	39	2.60	11	43	36.07	21	17	56	42.423	-23	26	11.68	11	58	9.42		
	6	14	44	59.894	-15	57	9.94	11	43	38.30	22	18	1	8.849	-23	26	18.44	11	58	39.31		
	7	14	48	59.121	-16	15	1.49	11	43	41.38	23	18	5	35.283	-23	25	56.94	11	59	9.20		
	8	14	52	59.202	-16	32	36.82	11	43	45.32	24	18	10	1.689	-23	25	7.19	11	59	39.03		
	9	14	57	0.142	-16	49	55.51	11	43	50.13	25	18	14	28.034	-23	23	49.22	12	0	8.79		
	10	15	1	1.944	-17	6	57.16	11	43	55.80	26	18	18	54.283	-23	22	3.07	12	0	38.44		
	11	15	5	4.613	-17	23	41.34	11	44	2.34	27	18	23	20.405	-23	19	48.79	12	1	7.94		
	12	15	9	8.150	-17	40	7.63	11	44	9.75	28	18	27	46.368	-23	17	6.46	12	1	37.26		
	13	15	13	12.555	-17	56	15.63	11	44	18.03	29	18	32	12.140	-23	13	56.15	12	2	6.37		
	14	15	17	17.826	-18	12	4.92	11	44	27.18	30	18	36	37.693	-23	10	17.98	12	2	35.24		
	15	15	21	23.959	-18	27	35.11	11	44	37.18	31	18	41	2.995	-23	6	12.05	12	3	3.85		
	16	15	25	30.949	-18	42	45.80	11	44	48.03	32	18	45	28.018	-23	1	38.48	12	3	32.17		
	17	15	29	38.787	-18	57	36.60	11	44	59.72	33	18	49	52.734	-22	56	37.38	12	4	0.16		

SOLEIL 2009 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Janv.	0	0.163 244 46	-0.889 670 52	-0.385 699 51	Févr.	15	0.821 794 83	-0.502 691 02	-0.217 937 55
	1	0.180 468 51	-0.886 847 71	-0.384 475 13		16	0.831 496 49	-0.489 426 49	-0.212 187 02
	2	0.197 635 07	-0.883 748 14	-0.383 130 81		17	0.840 944 00	-0.476 010 76	-0.206 370 78
	3	0.214 738 62	-0.880 373 04	-0.381 667 13		18	0.850 134 36	-0.462 447 89	-0.200 490 60
	4	0.231 773 74	-0.876 723 74	-0.380 084 69		19	0.859 064 60	-0.448 742 02	-0.194 548 31
	5	0.248 735 08	-0.872 801 69	-0.378 384 15		20	0.867 731 87	-0.434 897 38	-0.188 545 74
	6	0.265 617 43	-0.868 608 47	-0.376 566 21		21	0.876 133 38	-0.420 918 29	-0.182 484 80
	7	0.282 415 67	-0.864 145 73	-0.374 631 60		22	0.884 266 44	-0.406 809 15	-0.176 367 43
	8	0.299 124 83	-0.859 415 21	-0.372 581 07		23	0.892 128 46	-0.392 574 45	-0.170 195 59
	9	0.315 740 07	-0.854 418 65	-0.370 415 37		24	0.899 716 93	-0.378 218 77	-0.163 971 31
	10	0.332 256 68	-0.849 157 82	-0.368 135 26		25	0.907 029 50	-0.363 746 77	-0.157 696 63
	11	0.348 670 01	-0.843 634 44	-0.365 741 43		26	0.914 063 93	-0.349 163 18	-0.151 373 65
	12	0.364 975 46	-0.837 850 18	-0.363 234 57		27	0.920 818 13	-0.334 472 81	-0.145 004 48
	13	0.381 168 41	-0.831 806 69	-0.360 615 33		28	0.927 290 20	-0.319 680 55	-0.138 591 27
14	0.397 244 17	-0.825 505 57	-0.357 884 39	Mars	1	0.933 478 38	-0.304 791 30	-0.132 136 15	
15	0.413 197 97	-0.818 948 48	-0.355 042 39		2	0.939 381 10	-0.289 809 99	-0.125 641 29	
16	0.429 024 97	-0.812 137 13	-0.352 090 06		3	0.944 997 00	-0.274 741 56	-0.119 108 83	
17	0.444 720 27	-0.805 073 32	-0.349 028 15		4	0.950 324 85	-0.259 590 92	-0.112 540 90	
18	0.460 278 91	-0.797 758 98	-0.345 857 47		5	0.955 363 62	-0.244 362 94	-0.105 939 59	
19	0.475 695 92	-0.790 196 15	-0.342 578 91		6	0.960 112 41	-0.229 062 42	-0.099 306 95	
20	0.490 966 35	-0.782 387 00	-0.339 193 41		7	0.964 570 43	-0.213 694 07	-0.092 645 00	
21	0.506 085 23	-0.774 333 83	-0.335 701 97		8	0.968 736 99	-0.198 262 52	-0.085 955 70	
22	0.521 047 65	-0.766 039 06	-0.332 105 65		9	0.972 611 46	-0.182 772 31	-0.079 240 98	
23	0.535 848 72	-0.757 505 24	-0.328 405 57		10	0.976 193 19	-0.167 227 90	-0.072 502 72	
24	0.550 483 59	-0.748 735 04	-0.324 602 91		11	0.979 481 57	-0.151 633 68	-0.065 742 79	
25	0.564 947 46	-0.739 731 26	-0.320 698 91		12	0.982 475 94	-0.135 994 03	-0.058 963 06	
26	0.579 235 62	-0.730 496 81	-0.316 694 86		13	0.985 175 63	-0.120 313 34	-0.052 165 40	
27	0.593 343 40	-0.721 034 75	-0.312 592 11		14	0.987 579 95	-0.104 596 01	-0.045 351 70	
28	0.607 266 24	-0.711 348 23	-0.308 392 07	15	0.989 688 25	-0.088 846 50	-0.038 523 89		
29	0.620 999 67	-0.701 440 56	-0.304 096 20	16	0.991 499 89	-0.073 069 34	-0.031 683 94		
30	0.634 539 34	-0.691 315 13	-0.299 706 00	17	0.993 014 30	-0.057 269 11	-0.024 833 84		
31	0.647 881 00	-0.680 975 45	-0.295 223 03	18	0.994 230 97	-0.041 450 44	-0.017 975 62		
Févr.	1	0.661 020 58	-0.670 425 12	-0.290 648 87	19	0.995 149 49	-0.025 618 01	-0.011 111 32	
	2	0.673 954 12	-0.659 667 83	-0.285 985 14	20	0.995 769 52	-0.009 776 57	-0.004 243 03	
	3	0.686 677 85	-0.648 707 31	-0.281 233 47	21	0.996 090 84	0.006 069 10	0.002 627 16	
	4	0.699 188 13	-0.637 547 36	-0.276 395 52	22	0.996 113 30	0.021 914 20	0.009 497 13	
	5	0.711 481 50	-0.626 191 78	-0.271 472 92	23	0.995 836 88	0.037 753 85	0.016 364 74	
	6	0.723 554 66	-0.614 644 37	-0.266 467 31	24	0.995 261 67	0.053 583 15	0.023 227 84	
	7	0.735 404 42	-0.602 908 91	-0.261 380 30	25	0.994 387 87	0.069 397 17	0.030 084 25	
	8	0.747 027 71	-0.590 989 09	-0.256 213 45	26	0.993 215 84	0.085 190 91	0.036 931 77	
	9	0.758 421 52	-0.578 888 56	-0.250 968 29	27	0.991 746 09	0.100 959 38	0.043 768 22	
	10	0.769 582 84	-0.566 610 91	-0.245 646 34	28	0.989 979 31	0.116 697 54	0.050 591 38	
	11	0.780 508 64	-0.554 159 69	-0.240 249 09	29	0.987 916 37	0.132 400 40	0.057 399 08	
	12	0.791 195 86	-0.541 538 46	-0.234 778 03	30	0.985 558 32	0.148 062 97	0.064 189 14	
	13	0.801 641 39	-0.528 750 82	-0.229 234 70	31	0.982 906 39	0.163 680 36	0.070 959 45	
	14	0.811 842 09	-0.515 800 42	-0.223 620 67	Avril	1	0.979 961 99	0.179 247 74	0.077 707 93

SOLEIL 2009 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z		
	ua	ua	ua		ua	ua	ua		
Avril	2	0.976 726 64	0.194 760 40	0.084 432 56	Mai	18	0.549 892 82	0.778 914 00	0.337 680 40
	3	0.973 201 98	0.210 213 75	0.091 131 39		19	0.535 656 49	0.787 448 07	0.341 380 69
	4	0.969 389 73	0.225 603 34	0.097 802 52		20	0.521 265 54	0.795 757 48	0.344 983 47
	5	0.965 291 66	0.240 924 82	0.104 444 11		21	0.506 724 10	0.803 839 68	0.348 487 62
	6	0.960 909 52	0.256 173 97	0.111 054 36		22	0.492 036 39	0.811 692 14	0.351 892 02
	7	0.956 245 11	0.271 346 65	0.117 631 54		23	0.477 206 78	0.819 312 41	0.355 195 59
	8	0.951 300 18	0.286 438 79	0.124 173 90		24	0.462 239 79	0.826 698 08	0.358 397 28
	9	0.946 076 46	0.301 446 37	0.130 679 73		25	0.447 140 08	0.833 846 89	0.361 496 12
	10	0.940 575 67	0.316 365 40	0.137 147 31		26	0.431 912 42	0.840 756 69	0.364 491 21
	11	0.934 799 52	0.331 191 89	0.143 574 93		27	0.416 561 68	0.847 425 54	0.367 381 73
	12	0.928 749 72	0.345 921 82	0.149 960 84		28	0.401 092 77	0.853 851 66	0.370 166 96
13	0.922 428 02	0.360 551 16	0.156 303 29	29	0.385 510 59	0.860 033 48	0.372 846 26		
14	0.915 836 22	0.375 075 85	0.162 600 51	30	0.369 820 01	0.865 969 59	0.375 419 07		
15	0.908 976 17	0.389 491 83	0.168 850 71	31	0.354 025 79	0.871 658 73	0.377 884 87		
16	0.901 849 79	0.403 795 01	0.175 052 09	Juin	1	0.338 132 65	0.877 099 74	0.380 243 20	
17	0.894 459 10	0.417 981 27	0.181 202 85	2	0.322 145 20	0.882 291 53	0.382 493 61		
18	0.886 806 18	0.432 046 52	0.187 301 19	3	0.306 068 01	0.887 233 10	0.384 635 69		
19	0.878 893 22	0.445 986 63	0.193 345 28	4	0.289 905 55	0.891 923 47	0.386 669 02		
20	0.870 722 48	0.459 797 48	0.199 333 31	5	0.273 662 28	0.896 361 69	0.388 593 20		
21	0.862 296 33	0.473 474 94	0.205 263 46	6	0.257 342 60	0.900 546 86	0.390 407 82		
22	0.853 617 26	0.487 014 90	0.211 133 91	7	0.240 950 89	0.904 478 08	0.392 112 48		
23	0.844 687 88	0.500 413 21	0.216 942 83	8	0.224 491 54	0.908 154 46	0.393 706 79		
24	0.835 510 94	0.513 665 75	0.222 688 43	9	0.207 968 91	0.911 575 14	0.395 190 33		
25	0.826 089 36	0.526 768 43	0.228 368 90	10	0.191 387 40	0.914 739 25	0.396 562 73		
26	0.816 426 21	0.539 717 19	0.233 982 47	11	0.174 751 40	0.917 645 98	0.397 823 57		
27	0.806 524 76	0.552 508 08	0.239 527 44	12	0.158 065 36	0.920 294 49	0.398 972 49		
28	0.796 388 41	0.565 137 25	0.245 002 14	13	0.141 333 74	0.922 684 00	0.400 009 11		
29	0.786 020 71	0.577 600 98	0.250 404 99	14	0.124 561 05	0.924 813 75	0.400 933 06		
30	0.775 425 28	0.589 895 73	0.255 734 49	15	0.107 751 85	0.926 682 99	0.401 744 00		
Mai	1	0.764 605 82	0.602 018 12	0.260 989 21	16	0.090 910 73	0.928 291 02	0.402 441 60	
2	0.753 566 02	0.613 964 93	0.266 167 79	17	0.074 042 38	0.929 637 17	0.403 025 53		
3	0.742 309 58	0.625 733 05	0.271 268 95	18	0.057 151 52	0.930 720 81	0.403 495 51		
4	0.730 840 14	0.637 319 53	0.276 291 41	19	0.040 242 97	0.931 541 37	0.403 851 27		
5	0.719 161 34	0.648 721 48	0.281 233 98	20	0.023 321 66	0.932 098 31	0.404 092 57		
6	0.707 276 74	0.659 936 09	0.286 095 46	21	0.006 392 61	0.932 391 23	0.404 219 24		
7	0.695 189 89	0.670 960 62	0.290 874 68	22	-0.010 539 04	0.932 419 82	0.404 231 17		
8	0.682 904 28	0.681 792 34	0.295 570 46	23	-0.027 468 08	0.932 183 94	0.404 128 32		
9	0.670 423 41	0.692 428 55	0.300 181 63	24	-0.044 389 24	0.931 683 64	0.403 910 75		
10	0.657 750 77	0.702 866 56	0.304 707 03	25	-0.061 297 28	0.930 919 19	0.403 578 63		
11	0.644 889 83	0.713 103 68	0.309 145 47	26	-0.078 186 99	0.929 891 04	0.403 132 19		
12	0.631 844 14	0.723 137 23	0.313 495 77	27	-0.095 053 30	0.928 599 79	0.402 571 77		
13	0.618 617 23	0.732 964 53	0.317 756 75	28	-0.111 891 23	0.927 046 21	0.401 897 71		
14	0.605 212 72	0.742 582 89	0.321 927 21	29	-0.128 695 95	0.925 231 14	0.401 110 41		
15	0.591 634 27	0.751 989 67	0.326 005 99	30	-0.145 462 74	0.923 155 46	0.400 210 29		
16	0.577 885 60	0.761 182 19	0.329 991 89	Juill.	1	-0.162 186 98	0.920 820 13	0.399 197 75	
17	0.563 970 50	0.770 157 84	0.333 883 75	2	-0.178 864 14	0.918 226 10	0.398 073 23		

SOLEIL 2009 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z
	ua	ua	ua		ua	ua	ua
Juill. 3	-0.195 489 74	0.915 374 37	0.396 837 14	Août 18	-0.829 864 00	0.531 852 00	0.230 575 22
4	-0.212 059 36	0.912 265 94	0.395 489 90	19	-0.839 324 12	0.518 891 89	0.224 955 93
5	-0.228 568 63	0.908 901 84	0.394 031 95	20	-0.848 543 57	0.505 782 27	0.219 271 85
6	-0.245 013 20	0.905 283 10	0.392 463 71	21	-0.857 519 22	0.492 527 10	0.213 524 74
7	-0.261 388 74	0.901 410 76	0.390 785 61	22	-0.866 248 14	0.479 130 47	0.207 716 40
8	-0.277 690 96	0.897 285 90	0.388 998 08	23	-0.874 727 58	0.465 596 51	0.201 848 67
9	-0.293 915 54	0.892 909 60	0.387 101 57	24	-0.882 954 99	0.451 929 42	0.195 923 38
10	-0.310 058 18	0.888 282 95	0.385 096 51	25	-0.890 928 00	0.438 133 39	0.189 942 36
11	-0.326 114 58	0.883 407 09	0.382 983 37	26	-0.898 644 37	0.424 212 60	0.183 907 42
12	-0.342 080 39	0.878 283 17	0.380 762 62	27	-0.906 102 00	0.410 171 19	0.177 820 33
13	-0.357 951 28	0.872 912 36	0.378 434 73	28	-0.913 298 87	0.396 013 28	0.171 682 89
14	-0.373 722 87	0.867 295 87	0.376 000 21	29	-0.920 233 05	0.381 742 98	0.165 496 83
15	-0.389 390 75	0.861 434 97	0.373 459 59	30	-0.926 902 68	0.367 364 36	0.159 263 90
16	-0.404 950 45	0.855 330 94	0.370 813 40	31	-0.933 305 97	0.352 881 47	0.152 985 83
17	-0.420 397 47	0.848 985 16	0.368 062 24	Sept. 1	-0.939 441 19	0.338 298 38	0.146 664 36
18	-0.435 727 24	0.842 399 05	0.365 206 72	2	-0.945 306 67	0.323 619 10	0.140 301 19
19	-0.450 935 11	0.835 574 15	0.362 247 52	3	-0.950 900 78	0.308 847 66	0.133 898 03
20	-0.466 016 39	0.828 512 11	0.359 185 38	4	-0.956 221 94	0.293 988 06	0.127 456 60
21	-0.480 966 33	0.821 214 77	0.356 021 12	5	-0.961 268 60	0.279 044 29	0.120 978 60
22	-0.495 780 22	0.813 684 12	0.352 755 66	6	-0.966 039 22	0.264 020 34	0.114 465 72
23	-0.510 453 35	0.805 922 37	0.349 390 01	7	-0.970 532 29	0.248 920 19	0.107 919 67
24	-0.524 981 16	0.797 931 92	0.345 925 25	8	-0.974 746 30	0.233 747 84	0.101 342 18
25	-0.539 359 22	0.789 715 30	0.342 362 52	9	-0.978 679 74	0.218 507 30	0.094 734 96
26	-0.553 583 28	0.781 275 16	0.338 703 02	10	-0.982 331 09	0.203 202 65	0.088 099 79
27	-0.567 649 24	0.772 614 21	0.334 947 94	11	-0.985 698 84	0.187 837 97	0.081 438 44
28	-0.581 553 17	0.763 735 22	0.331 098 49	12	-0.988 781 47	0.172 417 47	0.074 752 75
29	-0.595 291 24	0.754 640 93	0.327 155 87	13	-0.991 577 49	0.156 945 40	0.068 044 60
30	-0.608 859 74	0.745 334 13	0.323 121 28	14	-0.994 085 45	0.141 426 16	0.061 315 91
31	-0.622 255 04	0.735 817 57	0.318 995 90	15	-0.996 303 95	0.125 864 24	0.054 568 68
Août 1	-0.635 473 58	0.726 094 02	0.314 780 93	16	-0.998 231 70	0.110 264 27	0.047 804 96
2	-0.648 511 85	0.716 166 27	0.310 477 53	17	-0.999 867 54	0.094 631 00	0.041 026 86
3	-0.661 366 40	0.706 037 08	0.306 086 89	18	-1.001 210 47	0.078 969 29	0.034 236 52
4	-0.674 033 83	0.695 709 24	0.301 610 18	19	-1.002 259 71	0.063 284 06	0.027 436 11
5	-0.686 510 76	0.685 185 54	0.297 048 59	20	-1.003 014 68	0.047 580 29	0.020 627 80
6	-0.698 793 84	0.674 468 76	0.292 403 30	21	-1.003 475 00	0.031 862 93	0.013 813 77
7	-0.710 879 78	0.663 561 72	0.287 675 49	22	-1.003 640 48	0.016 136 91	0.006 996 15
8	-0.722 765 25	0.652 467 22	0.282 866 34	23	-1.003 511 08	0.000 407 10	0.000 177 05
9	-0.734 446 96	0.641 188 10	0.277 977 06	24	-1.003 086 89	-0.015 321 70	-0.006 641 48
10	-0.745 921 62	0.629 727 20	0.273 008 86	25	-1.002 368 10	-0.031 444 72	-0.013 457 38
11	-0.757 185 91	0.618 087 39	0.267 962 96	26	-1.001 355 00	-0.046 757 29	-0.020 268 66
12	-0.768 236 52	0.606 271 59	0.262 840 60	27	-1.000 047 96	-0.062 454 76	-0.027 073 33
13	-0.779 070 10	0.594 282 76	0.257 643 07	28	-0.998 447 41	-0.078 132 55	-0.033 869 43
14	-0.789 683 29	0.582 123 92	0.252 371 67	29	-0.996 553 87	-0.093 786 12	-0.040 655 01
15	-0.800 072 69	0.569 798 16	0.247 027 75	30	-0.994 367 89	-0.109 410 96	-0.047 428 17
16	-0.810 234 89	0.557 308 69	0.241 612 71	Oct. 1	-0.991 890 12	-0.125 002 63	-0.054 186 99
17	-0.820 166 47	0.544 658 81	0.236 128 02	2	-0.989 121 21	-0.140 556 71	-0.060 929 61

SOLEIL 2009 à 0h TT

COORDONNÉES RECTANGULAIRES

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Z	Date	X	Y	Z
	ua	ua	ua		ua	ua	ua
Oct. 3	-0.986 061 90	-0.156 068 84	-0.067 654 14	Nov. 18	-0.557 944 28	-0.748 755 41	-0.324 605 31
4	-0.982 712 91	-0.171 534 70	-0.074 358 74	19	-0.543 370 98	-0.757 491 78	-0.328 392 27
5	-0.979 075 02	-0.186 950 00	-0.081 041 56	20	-0.528 630 94	-0.765 994 63	-0.332 077 92
6	-0.975 148 98	-0.202 310 45	-0.087 700 77	21	-0.513 728 90	-0.774 261 19	-0.335 661 09
7	-0.970 935 57	-0.217 611 78	-0.094 334 50	22	-0.498 669 65	-0.782 288 86	-0.339 140 67
8	-0.966 435 55	-0.232 849 70	-0.100 940 90	23	-0.483 457 99	-0.790 075 11	-0.342 515 61
9	-0.961 649 69	-0.248 019 87	-0.107 518 06	24	-0.468 098 76	-0.797 617 57	-0.345 784 91
10	-0.956 578 81	-0.263 117 91	-0.114 064 06	25	-0.452 596 80	-0.804 913 95	-0.348 947 60
11	-0.951 223 75	-0.278 139 34	-0.120 576 93	26	-0.436 956 97	-0.811 962 09	-0.352 002 77
12	-0.945 585 44	-0.293 079 62	-0.127 054 66	27	-0.421 184 15	-0.818 759 95	-0.354 949 56
13	-0.939 664 90	-0.307 934 14	-0.133 495 21	28	-0.405 283 18	-0.825 305 57	-0.357 787 13
14	-0.933 463 31	-0.322 698 18	-0.139 896 48	29	-0.389 258 92	-0.831 597 12	-0.360 514 72
15	-0.926 981 98	-0.337 366 97	-0.146 256 39	30	-0.373 116 16	-0.837 632 86	-0.363 131 58
16	-0.920 222 40	-0.351 935 72	-0.152 572 81	Déc. 1	-0.356 859 66	-0.843 411 13	-0.365 636 97
17	-0.913 186 30	-0.366 399 60	-0.158 843 62	2	-0.340 494 13	-0.848 930 32	-0.368 030 20
18	-0.905 875 56	-0.380 753 81	-0.165 066 73	3	-0.324 024 20	-0.854 188 86	-0.370 310 55
19	-0.898 292 27	-0.394 993 62	-0.171 240 08	4	-0.307 454 49	-0.859 185 14	-0.372 477 31
20	-0.890 438 71	-0.409 114 35	-0.177 361 65	5	-0.290 789 62	-0.863 917 57	-0.374 529 72
21	-0.882 317 27	-0.423 111 43	-0.183 429 47	6	-0.274 034 23	-0.868 384 49	-0.376 467 04
22	-0.873 930 48	-0.436 980 38	-0.189 441 62	7	-0.257 193 05	-0.872 584 22	-0.378 288 49
23	-0.865 280 98	-0.450 716 83	-0.195 396 23	8	-0.240 270 95	-0.876 515 07	-0.379 993 29
24	-0.856 371 46	-0.464 316 52	-0.201 291 48	9	-0.223 272 89	-0.880 175 40	-0.381 580 70
25	-0.847 204 72	-0.477 775 25	-0.207 125 58	10	-0.206 204 00	-0.883 563 59	-0.383 049 98
26	-0.837 783 58	-0.491 088 94	-0.212 896 80	11	-0.189 069 53	-0.886 678 12	-0.384 400 47
27	-0.828 110 95	-0.504 253 58	-0.218 603 41	12	-0.171 874 84	-0.889 517 58	-0.385 631 54
28	-0.818 189 78	-0.517 265 23	-0.224 243 74	13	-0.154 625 42	-0.892 080 68	-0.386 742 64
29	-0.808 023 06	-0.530 120 04	-0.229 816 17	14	-0.137 326 83	-0.894 366 26	-0.387 733 28
30	-0.797 613 84	-0.542 814 25	-0.235 319 07	15	-0.119 984 69	-0.896 373 31	-0.388 603 03
31	-0.786 965 17	-0.555 344 18	-0.240 750 87	16	-0.102 604 68	-0.898 100 98	-0.389 351 55
Nov. 1	-0.776 080 13	-0.567 706 20	-0.246 110 03	17	-0.085 192 51	-0.899 548 57	-0.389 978 56
2	-0.764 961 81	-0.579 896 79	-0.251 395 02	18	-0.067 753 91	-0.900 715 52	-0.390 483 86
3	-0.753 613 28	-0.591 912 45	-0.256 604 33	19	-0.050 294 60	-0.901 601 44	-0.390 867 31
4	-0.742 037 58	-0.603 749 72	-0.261 736 47	20	-0.032 820 28	-0.902 206 07	-0.391 128 81
5	-0.730 237 76	-0.615 405 15	-0.266 789 91	21	-0.015 336 64	-0.902 529 29	-0.391 268 36
6	-0.718 216 84	-0.626 875 26	-0.271 763 13	22	0.002 150 66	-0.902 571 12	-0.391 285 98
7	-0.705 977 90	-0.638 156 54	-0.276 654 56	23	0.019 636 01	-0.902 331 69	-0.391 181 77
8	-0.693 524 06	-0.649 245 42	-0.281 462 64	24	0.037 113 83	-0.901 811 27	-0.390 955 86
9	-0.680 858 52	-0.660 138 30	-0.286 185 73	25	0.054 578 59	-0.901 010 24	-0.390 608 44
10	-0.667 984 62	-0.670 831 51	-0.290 822 23	26	0.072 024 84	-0.899 929 10	-0.390 139 73
11	-0.654 905 83	-0.681 321 39	-0.295 370 49	27	0.089 447 18	-0.898 568 45	-0.389 550 01
12	-0.641 625 80	-0.691 604 27	-0.299 828 89	28	0.106 840 29	-0.896 929 00	-0.388 839 58
13	-0.628 148 34	-0.701 676 49	-0.304 195 84	29	0.124 198 97	-0.895 011 53	-0.388 008 79
14	-0.614 477 43	-0.711 534 47	-0.308 469 75	30	0.141 518 10	-0.892 816 91	-0.387 057 98
15	-0.600 617 21	-0.721 174 71	-0.312 649 09	31	0.158 792 68	-0.890 345 99	-0.385 987 50
16	-0.586 571 97	-0.730 593 78	-0.316 732 40	32	0.176 017 79	-0.887 599 66	-0.384 797 70
17	-0.572 346 15	-0.739 788 40	-0.320 718 26	33	0.193 188 55	-0.884 578 75	-0.383 488 88

LUNE

Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre II. 36

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Janv. 0 0	21 19 16.191	-14 50 43.44	400 845.158	Janv. 11 0	7 22 45.233	23 56 24.22	357 791.838
	6 21 30 46.585	-13 38 54.64	400 134.781		6 7 38 51.651	23 1 53.00	358 121.823
	12 21 42 12.028	-12 24 53.48	399 379.731		12 7 54 42.338	22 1 28.20	358 572.447
	18 21 53 33.182	-11 8 50.00	398 579.578		18 8 10 16.277	20 55 37.44	359 141.200
1 0	22 4 50.766	- 9 50 54.15	397 734.011	12 0	8 25 32.807	19 44 49.68	359 824.688
	6 22 16 5.550	- 8 31 15.87	396 842.866		6 8 40 31.603	18 29 34.66	360 618.684
	12 22 27 18.353	- 7 10 5.08	395 906.155		12 8 55 12.640	17 10 22.33	361 518.178
	18 22 38 30.038	- 5 47 31.70	394 924.093		18 9 9 36.159	15 47 42.46	362 517.446
2 0	22 49 41.511	- 4 23 45.75	393 897.123	13 0	9 23 42.625	14 22 4.23	363 610.121
	6 23 0 53.716	- 2 58 57.35	392 825.949		6 9 37 32.695	12 53 55.92	364 789.274
	12 23 12 7.635	- 1 33 16.81	391 711.556		12 9 51 7.175	11 23 44.72	366 047.499
	18 23 23 24.284	- 0 6 54.71	390 555.239		18 10 4 26.991	9 51 56.52	367 376.996
3 0	23 34 44.711	1 19 58.02	389 358.625	14 0	10 17 33.159	8 18 55.83	368 769.664
	6 23 46 9.996	2 47 10.07	388 123.697		6 10 30 26.758	6 45 5.72	370 217.183
	12 23 57 41.246	4 14 29.57	386 852.813		12 10 43 8.911	5 10 47.81	371 711.100
	18 0 9 19.590	5 41 44.07	385 548.723		18 10 55 40.765	3 36 22.26	373 242.911
4 0	0 21 6.179	7 8 40.40	384 214.583	15 0	11 8 3.478	2 2 7.87	374 804.134
	6 0 33 2.178	8 35 4.58	382 853.969		6 11 20 18.203	0 28 22.11	376 386.385
	12 0 45 8.759	10 0 41.73	381 470.881		12 11 32 26.086	- 1 4 38.77	377 981.438
	18 0 57 27.091	11 25 15.97	380 069.749		18 11 44 28.247	- 2 36 39.69	379 581.287
5 0	1 9 58.328	12 48 30.31	378 655.428	16 0	11 56 25.785	- 4 7 26.57	381 178.195
	6 1 22 43.597	14 10 6.62	377 233.194		6 12 8 19.764	- 5 36 46.30	382 764.746
	12 1 35 43.975	15 29 45.53	375 808.729		12 12 20 11.214	- 7 4 26.57	384 333.874
	18 1 49 0.471	16 47 6.41	374 388.104		18 12 32 1.125	- 8 30 15.80	385 878.905
6 0	2 2 33.999	18 1 47.41	372 977.751	17 0	12 43 50.444	- 9 54 3.06	387 393.578
	6 2 16 25.350	19 13 25.42	371 584.433		6 12 55 40.068	-11 15 37.94	388 872.068
	12 2 30 35.153	20 21 36.27	370 215.203		12 13 7 30.847	-12 34 50.49	390 309.001
	18 2 45 3.845	21 25 54.79	368 877.359		18 13 19 23.573	-13 51 31.13	391 699.466
7 0	2 59 51.631	22 25 55.10	367 578.388	18 0	13 31 18.981	-15 5 30.63	393 039.017
	6 3 14 58.443	23 21 10.90	366 325.905		6 13 43 17.742	-16 16 39.96	394 323.680
	12 3 30 23.905	24 11 15.81	365 127.588		12 13 55 20.456	-17 24 50.37	395 549.945
	18 3 46 7.305	24 55 43.91	363 991.100		18 14 7 27.654	-18 29 53.24	396 714.766
8 0	4 2 7.567	25 34 10.18	362 924.014	19 0	14 19 39.783	-19 31 40.16	397 815.551
	6 4 18 23.247	26 6 11.17	361 933.725		6 14 31 57.208	-20 30 2.86	398 850.151
	12 4 34 52.530	26 31 25.58	361 027.371		12 14 44 20.205	-21 24 53.24	399 816.843
	18 4 51 33.257	26 49 34.91	360 211.730		18 14 56 48.953	-22 16 3.40	400 714.322
9 0	5 8 22.967	27 0 24.04	359 493.151	20 0	15 9 23.531	-23 3 25.64	401 541.675
	6 5 25 18.949	27 3 41.80	358 877.455		6 15 22 3.918	-23 46 52.55	402 298.371
	12 5 42 18.325	26 59 21.36	358 369.851		12 15 34 49.985	-24 26 17.05	402 984.232
	18 5 59 18.129	26 47 20.55	357 974.866		18 15 47 41.499	-25 1 32.41	403 599.419
10 0	6 16 15.405	26 27 42.00	357 696.278	21 0	16 0 38.120	-25 32 32.40	404 144.404
	6 33 7.294	26 0 33.09	357 537.039		6 16 13 39.407	-25 59 11.32	404 619.951
	12 6 49 51.122	25 26 5.76	357 499.244		12 16 26 44.824	-26 21 24.08	405 027.090
	18 7 6 24.471	24 44 36.17	357 584.088		18 16 39 53.744	-26 39 6.30	405 367.090

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Janv. 22	0	16 53 5.465	-26 52 14.37	405 641.439	Févr. 2	0	1 47 59.267	16 44 16.99	379 461.241
	6	17 6 19.215	-27 0 45.55	405 851.817		6	2 1 10.164	17 57 11.28	378 375.439
	12	17 19 34.172	-27 4 37.97	406 000.068		12	2 14 36.278	19 7 5.61	377 285.766
	18	17 32 49.480	-27 3 50.76	406 088.178		18	2 28 18.215	20 13 39.54	376 195.448
23	0	17 46 4.261	-26 58 24.03	406 118.249	3	0 2 42 16.432	21 16 31.94	375 108.044	
	6	17 59 17.639	-26 48 18.88	406 092.474	6	2 56 31.215	22 15 21.20	374 027.446	
	12	18 12 28.754	-26 33 37.47	406 013.110	12	3 11 2.643	23 9 45.39	372 957.868	
	18	18 25 36.777	-26 14 22.93	405 882.459	18	3 25 50.563	23 59 22.47	371 903.830	
24	0	18 38 40.931	-25 50 39.38	405 702.840	4	0 3 40 54.569	24 43 50.63	370 870.142	
	6	18 51 40.502	-25 22 31.88	405 476.570	6	3 56 13.976	25 22 48.59	369 861.876	
	12	19 4 34.851	-24 50 6.37	405 205.940	12	4 11 47.811	25 55 56.05	368 884.329	
	18	19 17 23.424	-24 13 29.58	404 893.198	18	4 27 34.810	26 22 54.06	367 942.991	
25	0	19 30 5.760	-23 32 49.01	404 540.526	5	0 4 43 33.423	26 43 25.50	367 043.498	
	6	19 42 41.498	-22 48 12.80	404 150.027	6	4 59 41.835	26 57 15.52	366 191.580	
	12	19 55 10.373	-21 59 49.69	403 723.707	12	5 15 58.004	27 4 11.98	365 393.005	
	18	20 7 32.227	-21 7 48.91	403 263.461	18	5 32 19.701	27 4 5.82	364 653.525	
26	0	20 19 46.997	-20 12 20.14	402 771.063	6	0 5 48 44.568	26 56 51.41	363 978.800	
	6	20 31 54.721	-19 13 33.38	402 248.153	6	6 5 10.188	26 42 26.73	363 374.341	
	12	20 43 55.528	-18 11 38.93	401 696.234	12	6 21 34.147	26 20 53.55	362 845.435	
	18	20 55 49.638	-17 6 47.33	401 116.663	18	6 37 54.102	25 52 17.41	362 397.075	
27	0	21 7 37.353	-15 59 9.28	400 510.650	7	0 6 54 7.850	25 16 47.55	362 033.890	
	6	21 19 19.052	-14 48 55.60	399 879.259	6	7 10 13.380	24 34 36.70	361 760.079	
	12	21 30 55.187	-13 36 17.21	399 223.404	12	7 26 8.917	23 46 0.83	361 579.341	
	18	21 42 26.276	-12 21 25.09	398 543.865	18	7 41 52.954	22 51 18.74	361 494.818	
28	0	21 53 52.895	-11 4 30.29	397 841.283	8	0 7 57 24.273	21 50 51.70	361 509.043	
	6	22 5 15.679	- 9 45 43.85	397 116.179	6	8 12 41.947	20 45 3.01	361 623.887	
	12	22 16 35.310	- 8 25 16.89	396 368.961	12	8 27 45.339	19 34 17.54	361 840.522	
	18	22 27 52.520	- 7 3 20.55	395 599.944	18	8 42 34.086	18 19 1.34	362 159.395	
29	0	22 39 8.081	- 5 40 6.01	394 809.359	9	0 8 57 8.079	16 59 41.21	362 580.206	
	6	22 50 22.805	- 4 15 44.54	393 997.381	6	9 11 27.436	15 36 44.31	363 101.902	
	12	23 1 37.538	- 2 50 27.50	393 164.142	12	9 25 32.474	14 10 37.87	363 722.672	
	18	23 12 53.163	- 1 24 26.40	392 309.760	18	9 39 23.684	12 41 48.89	364 439.970	
30	0	23 24 10.589	0 2 7.10	391 434.359	10	0 9 53 1.697	11 10 43.88	365 250.529	
	6	23 35 30.757	1 29 1.10	390 538.096	6	10 6 27.261	9 37 48.67	366 150.400	
	12	23 46 54.630	2 56 3.44	389 621.190	12	10 19 41.213	8 3 28.29	367 134.989	
	18	23 58 23.195	4 23 1.63	388 683.943	18	10 32 44.462	6 28 6.77	368 199.107	
31	0	0 9 57.458	5 49 42.79	387 726.773	11	0 10 45 37.965	4 52 7.16	369 337.026	
	6	0 21 38.439	7 15 53.61	386 750.240	6	10 58 22.712	3 15 51.39	370 542.540	
	12	0 33 27.169	8 41 20.24	385 755.072	12	11 10 59.711	1 39 40.28	371 809.030	
	18	0 45 24.680	10 5 48.26	384 742.193	18	11 23 29.975	0 3 53.56	373 129.530	
Févr. 1	0	0 57 32.003	11 29 2.63	383 712.750	12	0 11 35 54.516	- 1 31 10.17	374 496.797	
	6	1 9 50.153	12 50 47.59	382 668.131	6	11 48 14.329	- 3 5 13.37	375 903.378	
	12	1 22 20.121	14 10 46.63	381 609.993	12	12 0 30.389	- 4 37 59.53	377 341.683	
	18	1 35 2.861	15 28 42.47	380 540.281	18	12 12 43.645	- 6 9 13.12	378 804.043	

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km		
Févr. 13	0	12	24	55.012	- 7	38	39.51	380 282.784	Févr. 24	0	21	40	40.812	-12	33	40.97	396 847.561
	6	12	37	5.366	- 9	6	4.96	381 770.276		6	21	52	15.084	-11	16	29.44	396 037.010
	12	12	49	15.542	-10	31	16.50	383 258.999		12	22	3	46.067	- 9	57	17.86	395 211.836
	18	13	1	26.325	-11	54	1.88	384 741.589		18	22	15	14.408	- 8	36	17.63	394 374.978
14	0	13	13	38.446	-13	14	9.55	386 210.887	25	0	22	26	40.791	- 7	13	40.38	393 529.207
	6	13	25	52.583	-14	31	28.55	387 659.985		6	22	38	5.941	- 5	49	37.93	392 677.118
	12	13	38	9.347	-15	45	48.47	389 082.258		12	22	49	30.617	- 4	24	22.40	391 821.109
	18	13	50	29.284	-16	56	59.45	390 471.404		18	23	0	55.608	- 2	58	6.11	390 963.384
15	0	14	2	52.869	-18	4	52.07	391 821.465	26	0	23	12	21.732	- 1	31	1.73	390 105.941
	6	14	15	20.499	-19	9	17.37	393 126.862		6	23	23	49.832	- 0	3	22.17	389 250.571
	12	14	27	52.490	-20	10	6.85	394 382.404		12	23	35	20.771	1	24	39.27	388 398.862
	18	14	40	29.071	-21	7	12.39	395 583.311		18	23	46	55.434	2	52	48.99	387 552.200
16	0	14	53	10.383	-22	0	26.33	396 725.224	27	0	23	58	34.718	4	20	52.95	386 711.777
	6	15	5	56.475	-22	49	41.41	397 804.216		6	0	10	19.532	5	48	36.74	385 878.599
	12	15	18	47.299	-23	34	50.84	398 816.794		12	0	22	10.787	7	15	45.50	385 053.505
	18	15	31	42.714	-24	15	48.32	399 759.905		18	0	34	9.399	8	42	3.90	384 237.174
17	0	15	44	42.482	-24	52	28.06	400 630.935	28	0	0	46	16.273	10	7	16.11	383 430.153
	6	15	57	46.274	-25	24	44.82	401 427.704		6	0	58	32.300	11	31	5.83	382 632.868
	12	16	10	53.673	-25	52	33.98	402 148.467		12	1	10	58.344	12	53	16.20	381 845.656
	18	16	24	4.178	-26	15	51.54	402 791.900		18	1	23	35.234	14	13	29.86	381 068.781
18	0	16	37	17.215	-26	34	34.22	403 357.097	Mars 1	0	1	36	23.749	15	31	28.94	380 302.466
	6	16	50	32.147	-26	48	39.47	403 843.555		6	1	49	24.601	16	46	55.05	379 546.917
	12	17	3	48.282	-26	58	5.53	404 251.166		12	2	2	38.420	17	59	29.38	378 802.351
	18	17	17	4.891	-27	2	51.42	404 580.198		18	2	16	5.736	19	8	52.69	378 069.024
19	0	17	30	21.217	-27	2	57.03	404 831.286	2	0	2	29	46.959	20	14	45.47	377 347.256
	6	17	43	36.497	-26	58	23.06	405 005.411		6	2	43	42.352	21	16	47.98	376 637.459
	12	17	56	49.969	-26	49	11.10	405 103.884		12	2	57	52.019	22	14	40.48	375 940.164
	18	18	10	0.892	-26	35	23.56	405 128.327		18	3	12	15.877	23	8	3.31	375 256.039
20	0	18	23	8.561	-26	17	3.68	405 080.652	3	0	3	26	53.642	23	56	37.21	374 585.915
	6	18	36	12.315	-25	54	15.50	404 963.043		6	3	41	44.811	24	40	3.47	373 930.800
	12	18	49	11.555	-25	27	3.84	404 777.932		12	3	56	48.653	25	18	4.25	373 291.899
	18	19	2	5.748	-24	55	34.23	404 527.978		18	4	12	4.206	25	50	22.90	372 670.621
21	0	19	14	54.439	-24	19	52.88	404 216.040	4	0	4	27	30.279	26	16	44.21	372 068.591
	6	19	27	37.257	-23	40	6.62	403 845.159		6	4	43	5.465	26	36	54.75	371 487.649
	12	19	40	13.914	-22	56	22.85	403 418.527		12	4	58	48.165	26	50	43.19	370 929.855
	18	19	52	44.216	-22	8	49.50	402 939.466		18	5	14	36.617	26	58	0.53	370 397.477
22	0	20	5	8.053	-21	17	34.95	402 411.401	5	0	5	30	28.934	26	58	40.37	369 892.987
	6	20	17	25.406	-20	22	48.00	401 837.836		6	5	46	23.153	26	52	39.08	369 419.042
	12	20	29	36.343	-19	24	37.83	401 222.325		12	6	2	17.282	26	39	55.91	368 978.466
	18	20	41	41.012	-18	23	13.95	400 568.448		18	6	18	9.355	26	20	33.03	368 574.222
23	0	20	53	39.641	-17	18	46.15	399 879.786	6	0	6	33	57.477	25	54	35.56	368 209.389
	6	21	5	32.533	-16	11	24.53	399 159.897		6	6	49	39.877	25	22	11.41	367 887.123
	12	21	17	20.059	-15	1	19.39	398 412.288		12	7	5	14.943	24	43	31.16	367 610.621
	18	21	29	2.654	-13	48	41.28	397 640.395		18	7	20	41.257	23	58	47.87	367 383.082

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Mars 7 0	7 35 57.616	23 8 16.78	367 207.660	Mars 18 0	17 12 42.583	-26 52 13.07	402 731.139
6	7 51 3.047	22 12 15.11	367 087.424	6	17 26 3.725	-26 53 51.51	403 193.141
12	8 5 56.812	21 11 1.70	367 025.302	12	17 39 22.941	-26 50 48.16	403 575.962
18	8 20 38.403	20 4 56.76	367 024.043	18	17 52 39.496	-26 43 5.51	403 878.386
8 0	8 35 7.536	18 54 21.59	367 086.161	19 0	18 5 52.691	-26 30 46.83	404 099.602
6	8 49 24.132	17 39 38.30	367 213.894	6	18 19 1.874	-26 13 56.16	404 239.201
12	9 3 28.301	16 21 9.55	367 409.156	12	18 32 6.454	-25 52 38.19	404 297.175
18	9 17 20.321	14 59 18.36	367 673.499	18	18 45 5.907	-25 26 58.28	404 273.916
9 0	9 31 0.615	13 34 27.90	368 008.072	20 0	18 57 59.786	-24 57 2.35	404 170.205
6	9 44 29.732	12 7 1.32	368 413.587	6	19 10 47.729	-24 22 56.82	403 987.206
12	9 57 48.323	10 37 21.59	368 890.296	12	19 23 29.459	-23 44 48.57	403 726.460
18	10 10 57.123	9 5 51.41	369 437.963	18	19 36 4.787	-23 2 44.89	403 389.871
10 0	10 23 56.933	7 32 53.08	370 055.849	21 0	19 48 33.612	-22 16 53.40	402 979.695
6	10 36 48.602	5 58 48.44	370 742.707	6	20 0 55.924	-21 27 22.02	402 498.527
12	10 49 33.014	4 23 58.79	371 496.773	12	20 13 11.796	-20 34 18.95	401 949.282
18	11 2 11.077	2 48 44.84	372 315.772	18	20 25 21.381	-19 37 52.59	401 335.183
11 0	11 14 43.706	1 13 26.69	373 196.929	22 0	20 37 24.914	-18 38 11.60	400 659.740
6	11 27 11.818	-0 21 36.21	374 136.986	6	20 49 22.699	-17 35 24.77	399 926.725
12	11 39 36.322	-1 56 5.10	375 132.225	12	21 1 15.111	-16 29 41.14	399 140.159
18	11 51 58.110	-3 29 41.88	376 178.492	18	21 13 2.588	-15 21 9.89	398 304.281
12 0	12 4 18.051	-5 2 9.14	377 271.235	23 0	21 24 45.624	-14 10 0.44	397 423.523
6	12 16 36.983	-6 33 10.14	378 405.539	6	21 36 24.771	-12 56 22.40	396 502.489
12	12 28 55.710	-8 2 28.84	379 576.165	12	21 48 0.627	-11 40 25.61	395 545.918
18	12 41 14.993	-9 29 49.85	380 777.595	18	21 59 33.834	-10 22 20.18	394 558.663
13 0	12 53 35.547	-10 54 58.46	382 004.075	24 0	22 11 5.077	-9 2 16.52	393 545.652
6	13 5 58.030	-12 17 40.58	383 249.664	6	22 22 35.078	-7 40 25.34	392 511.862
12	13 18 23.045	-13 37 42.79	384 508.279	12	22 34 4.593	-6 16 57.72	391 462.285
18	13 30 51.130	-14 54 52.29	385 773.742	18	22 45 34.406	-4 52 5.16	390 401.891
14 0	13 43 22.752	-16 8 56.90	387 039.827	25 0	22 57 5.331	-3 25 59.58	389 335.601
6	13 55 58.304	-17 19 45.07	388 300.304	6	23 8 38.207	-1 58 53.38	388 268.246
12	14 8 38.098	-18 27 5.89	389 548.983	12	23 20 13.891	-0 30 59.49	387 204.542
18	14 21 22.361	-19 30 49.07	390 779.755	18	23 31 53.260	0 57 28.61	386 149.050
15 0	14 34 11.231	-20 30 44.95	391 986.634	26 0	23 43 37.205	2 26 16.84	385 106.150
6	14 47 4.754	-21 26 44.56	393 163.790	6	23 55 26.625	3 55 10.50	384 080.012
12	15 0 2.883	-22 18 39.59	394 305.585	12	0 7 22.424	5 23 54.23	383 074.564
18	15 13 5.472	-23 6 22.44	395 406.607	18	0 19 25.507	6 52 12.01	382 093.472
16 0	15 26 12.284	-23 49 46.26	396 461.695	27 0	0 31 36.766	8 19 47.12	381 140.116
6	15 39 22.988	-24 28 44.95	397 465.966	6	0 43 57.080	9 46 22.13	380 217.571
12	15 52 37.166	-25 3 13.19	398 414.843	12	0 56 27.297	11 11 38.97	379 328.594
18	16 5 54.315	-25 33 6.52	399 304.068	18	1 9 8.228	12 35 18.85	378 475.610
17 0	16 19 13.863	-25 58 21.30	400 129.726	28 0	1 22 0.634	13 57 2.38	377 660.709
6	16 32 35.171	-26 18 54.77	400 888.259	6	1 35 5.203	15 16 29.58	376 885.638
12	16 45 57.549	-26 34 45.06	401 576.479	12	1 48 22.544	16 33 19.97	376 151.808
18	16 59 20.271	-26 45 51.19	402 191.578	18	2 1 53.158	17 47 12.66	375 460.297

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Mars 29	0	2 15 37.423	18 57 46.49	374 811.863	Avril 9	0	12 35 24.958	- 8 46 44.64	382 325.027
	6	2 29 35.573	20 4 40.16	374 206.957		6	12 47 39.640	-10 11 33.77	383 246.378
	12	2 43 47.677	21 7 32.45	373 645.740		12	12 59 57.263	-11 34 15.03	384 191.108
	18	2 58 13.615	22 6 2.38	373 128.111		18	13 12 18.428	-12 54 34.07	385 156.279
30	0	3 12 53.067	22 59 49.53	372 653.727	10	0	13 24 43.666	-14 12 16.98	386 138.684
	6	3 27 45.491	23 48 34.23	372 222.031		6	13 37 13.434	-15 27 10.24	387 134.862
	12	3 42 50.123	24 31 57.90	371 832.289		12	13 49 48.111	-16 39 0.82	388 141.118
	18	3 58 5.964	25 9 43.37	371 483.614		18	14 2 27.984	-17 47 36.20	389 153.547
31	0	4 13 31.795	25 41 35.11	371 175.003	11	0	14 15 13.252	-18 52 44.38	390 168.054
	6	4 29 6.183	26 7 19.63	370 905.371		6	14 28 4.013	-19 54 13.98	391 180.386
	12	4 44 47.511	26 26 45.66	370 673.583		12	14 41 0.265	-20 51 54.30	392 186.153
	18	5 0 34.002	26 39 44.47	370 478.487		18	14 54 1.902	-21 45 35.31	393 180.861
Avril 1	0	5 16 23.768	26 46 9.99	370 318.946	12	0	15 7 8.710	-22 35 7.80	394 159.942
	6	5 32 14.848	26 45 59.00	370 193.864		6	15 20 20.370	-23 20 23.39	395 118.780
	12	5 48 5.264	26 39 11.15	370 102.216		12	15 33 36.464	-24 1 14.58	396 052.746
	18	6 3 53.066	26 25 48.97	370 043.072		18	15 46 56.471	-24 37 34.87	396 957.228
2	0	6 19 36.389	26 5 57.78	370 015.615	13	0	16 0 19.786	-25 9 18.72	397 827.658
	6	6 35 13.490	25 39 45.57	370 019.160		6	16 13 45.719	-25 36 21.70	398 659.542
	12	6 50 42.793	25 7 22.75	370 053.165		12	16 27 13.517	-25 58 40.42	399 448.494
	18	7 6 2.917	24 29 1.97	370 117.243		18	16 40 42.369	-26 16 12.61	400 190.254
3	0	7 21 12.695	23 44 57.78	370 211.164	14	0	16 54 11.429	-26 28 57.11	400 880.725
	6	7 36 11.193	22 55 26.40	370 334.855		6	17 7 39.830	-26 36 53.86	401 515.993
	12	7 50 57.707	22 0 45.38	370 488.399		12	17 21 6.702	-26 40 3.86	402 092.350
	18	8 5 31.764	21 1 13.35	370 672.025		18	17 34 31.189	-26 38 29.18	402 606.323
4	0	8 19 53.108	19 57 9.74	370 886.094	15	0	17 47 52.468	-26 32 12.82	403 054.688
	6	8 34 1.689	18 48 54.54	371 131.088		6	18 1 9.762	-26 21 18.72	403 434.498
	12	8 47 57.641	17 36 48.07	371 407.585		12	18 14 22.357	-26 5 51.65	403 743.095
	18	9 1 41.262	16 21 10.86	371 716.245		18	18 27 29.613	-25 45 57.13	403 978.133
5	0	9 15 12.997	15 2 23.43	372 057.773	16	0	18 40 30.974	-25 21 41.33	404 137.588
	6	9 28 33.411	13 40 46.21	372 432.904		6	18 53 25.977	-24 53 10.98	404 219.780
	12	9 41 43.171	12 16 39.43	372 842.366		12	19 6 14.254	-24 20 33.30	404 223.377
	18	9 54 43.029	10 50 23.07	373 286.854		18	19 18 55.539	-23 43 55.89	404 147.415
6	0	10 7 33.801	9 22 16.80	373 766.995	17	0	19 31 29.665	-23 3 26.65	403 991.303
	6	10 20 16.353	7 52 39.94	374 283.325		6	19 43 56.565	-22 19 13.72	403 754.832
	12	10 32 51.589	6 21 51.44	374 836.248		12	19 56 16.269	-21 31 25.41	403 438.183
	18	10 45 20.434	4 50 9.90	375 426.017		18	20 8 28.901	-20 40 10.12	403 041.932
7	0	10 57 43.828	3 17 53.53	376 052.699	18	0	20 20 34.671	-19 45 36.35	402 567.056
	6	11 10 2.712	1 45 20.16	376 716.153		6	20 32 33.873	-18 47 52.63	402 014.928
	12	11 22 18.024	0 12 47.30	377 416.007		12	20 44 26.879	-17 47 7.52	401 387.328
	18	11 34 30.688	- 1 19 27.95	378 151.635		18	20 56 14.128	-16 43 29.58	400 686.430
8	0	11 46 41.611	- 2 51 8.81	378 922.143	19	0	21 7 56.128	-15 37 7.39	399 914.808
	6	11 58 51.670	- 4 21 58.83	379 726.354		6	21 19 33.446	-14 28 9.58	399 075.425
	12	12 11 1.715	- 5 51 41.92	380 562.800		12	21 31 6.701	-13 16 44.80	398 171.625
	18	12 23 12.556	- 7 20 2.33	381 429.713		18	21 42 36.562	-12 3 1.83	397 207.126

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	km		h	m	s	°	'	''	km		
Avril	20	0	21 54	3.746	-10	47	9.54	396 186.004	Mai	1	0	8 6	45.716	20	39	59.43	369 494.607
	6	22	5 29.007	-9	29	16.99	395 112.681	6		8	21	8.630	19	35	17.53	370 076.509	
	12	22	16 53.138	-8	9	33.46	393 991.903	12		8	35	16.869	18	26	36.72	370 688.584	
	18	22	28 16.967	-6	48	8.53	392 828.725	18		8	49	10.708	17	14	18.88	371 327.861	
21	0	22 39	41.352	-5	25	12.13	391 628.480	2	0	9	2	50.594	15	58	45.61	371 991.557	
6	22	51 7.179	-4	0	54.60	390 396.760	6	6	9	16	17.124	14	40	18.12	372 677.084		
12	23	2 35.362	-2	35	26.77	389 139.380	12	9	29	31.015	13	19	17.07	373 382.066			
18	23	14 6.837	-1	9	0.06	387 862.349	18	9	42	33.084	11	56	2.52	374 104.342			
22	0	23 25	42.557	0	18	13.51	386 571.834	3	0	9	55	24.224	10	30	53.89	374 841.963	
6	23	37 23.497	1	46	1.19	385 274.120	6	6	10	8	5.386	9	4	9.96	375 593.194		
12	23	49 10.641	3	14	9.45	383 975.572	12	10	20	37.564	7	36	8.85	376 356.502			
18	0	1 4.979	4	42	23.92	382 682.586	18	10	33	1.778	6	7	8.08	377 130.546			
23	0	0 13	7.507	6	10	29.32	381 401.550	4	0	10	45	19.065	4	37	24.55	377 914.164	
6	0	25 19.212	7	38	9.43	380 138.793	6	6	10	57	30.466	3	7	14.67	378 706.355		
12	0	37 41.066	9	5	7.03	378 900.535	12	11	9	37.019	1	36	54.31	379 506.260			
18	0	50 14.015	10	31	3.87	377 692.844	18	11	21	39.749	0	6	38.94	380 313.140			
24	0	1 2	58.966	11	55	40.70	376 521.578	5	0	11	33	39.665	-1	23	16.37	381 126.352	
6	1	15 56.773	13	18	37.26	375 392.343	6	6	11	45	37.751	-2	52	36.89	381 945.330		
12	1	29 8.216	14	39	32.32	374 310.444	12	11	57	34.963	-4	21	8.19	382 769.552			
18	1	42 33.980	15	58	3.78	373 280.841	18	12	9	32.220	-5	48	36.06	383 598.525			
25	0	1 56	14.636	17	13	48.75	372 308.102	6	0	12	21	30.403	-7	14	46.54	384 431.753	
6	2	10 10.616	18	26	23.74	371 396.372	6	6	12	33	30.348	-8	39	25.84	385 268.716		
12	2	24 22.181	19	35	24.83	370 549.333	12	12	45	32.841	-10	2	20.34	386 108.848			
18	2	38 49.403	20	40	27.89	369 770.180	18	12	57	38.609	-11	23	16.60	386 951.512			
26	0	2 53	32.131	21	41	8.91	369 061.593	7	0	13	9	48.321	-12	42	1.32	387 795.984	
6	3	8 29.975	22	37	4.33	368 425.727	6	6	13	22	2.574	-13	58	21.38	388 641.432		
12	3	23 42.284	23	27	51.35	367 864.199	12	12	13	34	21.889	-15	12	3.86	389 486.899		
18	3	39 8.134	24	13	8.39	367 378.082	18	13	46	46.706	-16	22	56.05	390 331.292			
27	0	3 54	46.326	24	52	35.51	366 967.915	8	0	13	59	17.376	-17	30	45.51	391 173.369	
6	4	10 35.391	25	25	54.78	366 633.715	6	6	14	11	54.151	-18	35	20.14	392 011.730		
12	4	26 33.609	25	52	50.73	366 374.988	12	12	14	24	37.182	-19	36	28.20	392 844.811		
18	4	42 39.040	26	13	10.70	366 190.761	18	13	47	26.512	-20	33	58.42	393 670.881			
28	0	4 58	49.567	26	26	45.14	366 079.611	9	0	14	50	22.071	-21	27	40.06	394 488.037	
6	5	15 2.944	26	33	27.88	366 039.700	6	6	15	3	23.674	-22	17	23.01	395 294.214		
12	5	31 16.858	26	33	16.22	366 068.812	12	12	15	16	31.016	-23	2	57.90	396 087.180		
18	5	47 28.996	26	26	11.01	366 164.405	18	13	15	29	43.683	-23	44	16.12	396 864.550		
29	0	6 3	37.099	26	12	16.56	366 323.651	10	0	15	43	1.144	-24	21	10.03	397 623.789	
6	6	19 39.036	25	51	40.53	366 543.486	6	6	15	56	22.766	-24	53	32.91	398 362.229		
12	6	35 32.843	25	24	33.59	366 820.663	12	12	16	9	47.821	-25	21	19.17	399 077.078		
18	6	51 16.780	24	51	9.19	367 151.794	18	13	16	23	15.496	-25	44	24.32	399 765.436		
30	0	7 6	49.352	24	11	43.14	367 533.406	11	0	16	36	44.911	-26	2	45.06	400 424.313	
6	7	22 9.338	23	26	33.24	367 961.983	6	6	16	50	15.135	-26	16	19.34	401 050.646		
12	7	37 15.794	22	35	58.84	368 434.009	12	12	17	3	45.204	-26	25	6.30	401 641.321		
18	7	52 8.054	21	40	20.46	368 946.015	18	13	17	17	14.141	-26	29	6.36	402 193.189		

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	km		h	m	s	°	'	''	km		
Mai	12	0	17 30	40.977	-26	28	21.12	402 703.092	Mai	23	0	2 29	25.091	20	1	7.81	368 983.235
	6	17 44	4.770	-26	22	53.32	403 167.882	6		2 44	4.665	21	4	14.69	367 850.690		
	12	17 57	24.625	-26	12	46.84	403 584.448	12		2 59	1.887	22	2	54.66	366 790.860		
	18	18 10	39.709	-25	58	6.51	403 949.734	18		3 14	16.342	22	56	41.88	365 809.527		
	13	0	18 23	49.267	-25	38	58.10	404 260.765		24	0	3 29	47.307	23	45	11.13	364 911.967
	6	18 36	52.636	-25	15	28.19	404 514.671	6		3 45	33.735	24	27	58.31	364 102.887		
	12	18 49	49.251	-24	47	44.04	404 708.711	12		4 1	34.249	25	4	40.96	363 386.375		
	18	19 2	38.655	-24	15	53.48	404 840.291	18		4 17	47.148	25	34	58.85	362 765.859		
	14	0	19 15	20.500	-23	40	4.82	404 906.996		25	0	4 34	10.426	25	58	34.48	362 244.071
	6	19 27	54.552	-23	0	26.71	404 906.602	6		4 50	41.815	26	15	13.59	361 823.015		
	12	19 40	20.687	-22	17	8.09	404 837.108	12		5 7	18.834	26	24	45.61	361 503.961		
	18	19 52	38.887	-21	30	18.02	404 696.750	18		5 23	58.854	26	27	3.96	361 287.432		
	15	0	20 4	49.241	-20	40	5.67	404 484.026		26	0	5 40	39.177	26	22	6.25	361 173.212
	6	20 16	51.933	-19	46	40.23	404 197.712	6		5 57	17.109	26	9	54.39	361 160.357		
	12	20 28	47.242	-18	50	10.86	403 836.888	12		6 13	50.049	25	50	34.44	361 247.227		
	18	20 40	35.531	-17	50	46.62	403 400.947	18		6 30	15.553	25	24	16.48	361 431.511		
	16	0	20 52	17.239	-16	48	36.49	402 889.621		27	0	6 46	31.406	24	51	14.20	361 710.280
	6	21 3	52.879	-15	43	49.32	402 302.992	6		7 2	35.665	24	11	44.51	362 080.033		
	12	21 15	23.029	-14	36	33.87	401 641.506	12		7 18	26.698	23	26	7.07	362 536.753		
	18	21 26	48.327	-13	26	58.76	400 905.993	18		7 34	3.205	22	34	43.71	363 075.970		
	17	0	21 38	9.461	-12	15	12.54	400 097.669		28	0	7 49	24.215	21	37	57.90	363 692.830
	6	21 49	27.172	-11	1	23.71	399 218.156	6		8 4	29.087	20	36	14.28	364 382.157		
	12	22 0	42.243	-9	45	40.74	398 269.485	12		8 19	17.481	19	29	58.15	365 138.527		
	18	22 11	55.499	-8	28	12.17	397 254.105	18		8 33	49.340	18	19	35.03	365 956.333		
	18	0	22 23	7.801	-7	9	6.59	396 174.884		29	0	8 48	4.855	17	5	30.32	366 829.853
	6	22 34	20.046	-5	48	32.78	395 035.116	6		9 2	4.435	15	48	9.02	367 753.314		
	12	22 45	33.163	-4	26	39.76	393 838.517	12		9 15	48.670	14	27	55.45	368 720.950		
	18	22 56	48.111	-3	3	36.84	392 589.223	18		9 29	18.300	13	5	13.14	369 727.063		
	19	0	23 8	5.877	-1	39	33.72	391 291.781		30	0	9 42	34.186	11	40	24.66	370 766.067
	6	23 19	27.474	-0	14	40.61	389 951.144	6		9 55	37.285	10	13	51.57	371 832.539		
	12	23 30	53.938	1	10	51.73	388 572.652	12		10 8	28.621	8	45	54.39	372 921.256		
	18	23 42	26.328	2	36	51.85	387 162.016	18		10 21	9.270	7	16	52.63	374 027.231		
	20	0	23 54	5.716	4	3	7.55	385 725.298		31	0	10 33	40.338	5	47	4.76	375 145.737
	6	0 5	53.190	5	29	25.77	384 268.885	6		10 46	2.951	4	16	48.33	376 272.331		
	12	0 17	49.844	6	55	32.47	382 799.453	12		10 58	18.238	2	46	19.99	377 402.874		
	18	0 29	56.771	8	21	12.60	381 323.941	18		11 10	27.323	1	15	55.55	378 533.535		
	21	0	0 42	15.055	9	46	9.98	379 849.501	Juin	1	0	11 22	31.320	-0	14	9.87	379 660.803
	6	0 54	45.758	11	10	7.24	378 383.459	6		11 34	31.319	-1	43	41.84	380 781.482		
	12	1 7	29.906	12	32	45.78	376 933.266	12		11 46	28.387	-3	12	26.48	381 892.695		
	18	1 20	28.472	13	53	45.74	375 506.439	18		11 58	23.557	-4	40	10.42	382 991.870		
	22	0	1 33	42.357	15	12	46.01	374 110.509		2	0	12 10	17.826	-6	6	40.68	384 076.732
	6	1 47	12.363	16	29	24.28	372 752.956	6		12 22	12.151	-7	31	44.65	385 145.289		
	12	2 0	59.169	17	43	17.10	371 441.145	12		12 34	7.443	-8	55	10.00	386 195.814		
	18	2 15	3.299	18	54	0.02	370 182.259	18		12 46	4.560	-10	16	44.63	387 226.828		

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km
Juin	3 0	12 58	4.307	-11 36	16.65		388 237.078	Juin	14 0	22 9	14.214	- 8 33	39.93		400 484.906
	6	13 10	7.426	-12 53	34.31		389 225.512		6	22 20	16.714	- 7 16	1.52		399 624.392
	12	13 22	14.592	-14 8	26.00		390 191.260		12	22 31	18.118	- 5 57	3.44		398 698.594
	18	13 34	26.405	-15 20	40.26		391 133.607		18	22 42	19.330	- 4 36	54.37		397 708.605
	4 0	13 46	43.388	-16 30	5.75		392 051.968		15 0	22 53	21.283	- 3 15	43.13		396 655.888
	6	13 59	5.972	-17 36	31.30		392 945.866		6	23 4	24.942	- 1 53	38.72		395 542.295
	12	14 11	34.497	-18 39	45.92		393 814.903		12	23 15	31.301	- 0 30	50.39		394 370.077
	18	14 24	9.202	-19 39	38.85		394 658.742		18	23 26	41.382	0 52	32.26		393 141.902
	5 0	14 36	50.218	-20 35	59.63		395 477.076		16 0	23 37	56.233	2 16	19.21		391 860.862
	6	14 49	37.564	-21 28	38.15		396 269.614		6	23 49	16.925	3 40	19.89		390 530.482
	12	15 2	31.143	-22 17	24.74		397 036.055		12	0 0	44.549	5 4	23.14		389 154.724
	18	15 15	30.740	-23 2	10.28		397 776.070		18	0 12	20.217	6 28	17.06		387 737.989
	6 0	15 28	36.018	-23 42	46.26		398 489.284		17 0	0 24	5.050	7 51	48.94		386 285.114
	6	15 41	46.525	-24 19	4.91		399 175.259		6	0 36	0.175	9 14	45.14		384 801.368
	12	15 55	1.695	-24 50	59.27		399 833.483		12	0 48	6.720	10 36	51.02		383 292.436
	18	16 8	20.859	-25 18	23.33		400 463.356		18	1 0	25.798	11 57	50.81		381 764.410
	7 0	16 21	43.249	-25 41	12.07		401 064.177		18 0	1 12	58.498	13 17	27.58		380 223.759
	6	16 35	8.020	-25 59	21.58		401 635.143		6	1 25	45.866	14 35	23.17		378 677.312
	12	16 48	34.257	-26 12	49.09		402 175.336		12	1 38	48.888	15 51	18.14		377 132.220
	18	17 2	0.999	-26 21	33.05		402 683.726		18	1 52	8.467	17 4	51.76		375 595.916
	8 0	17 15	27.255	-26 25	33.12		403 159.167		19 0	2 5	45.394	18 15	42.06		374 076.075
	6	17 28	52.028	-26 24	50.19		403 600.396		6	2 19	40.321	19 23	25.92		372 580.559
	12	17 42	14.331	-26 19	26.38		404 006.040		12	2 33	53.724	20 27	39.16		371 117.362
	18	17 55	33.210	-26 9	24.96		404 374.621		18	2 48	25.874	21 27	56.80		369 694.545
	9 0	18 8	47.764	-25 54	50.31		404 704.560		20 0	3 3	16.795	22 23	53.27		368 320.170
	6	18 21	57.158	-25 35	47.85		404 994.190		6	3 18	26.231	23 15	2.79		367 002.224
	12	18 35	0.641	-25 12	23.92		405 241.765		12	3 33	53.621	24 0	59.79		365 748.543
	18	18 47	57.556	-24 44	45.69		405 445.474		18	3 49	38.067	24 41	19.36		364 566.734
	10 0	19 0	47.349	-24 13	1.07		405 603.456		21 0	4 5	38.324	25 15	37.85		363 464.090
	6	19 13	29.578	-23 37	18.54		405 713.812		6	4 21	52.799	25 43	33.42		362 447.508
	12	19 26	3.909	-22 57	47.07		405 774.629		12	4 38	19.562	26 4	46.64		361 523.408
	18	19 38	30.127	-22 14	36.02		405 783.992		18	4 54	56.382	26 19	1.10		360 697.661
	11 0	19 50	48.123	-21 27	54.99		405 740.009		22 0	5 11	40.770	26 26	3.92		359 975.505
	6	20 2	57.901	-20 37	53.76		405 640.827		6	5 28	30.042	26 25	46.21		359 361.486
	12	20 14	59.566	-19 44	42.21		405 484.657		12	5 45	21.401	26 18	3.41		358 859.397
	18	20 26	53.321	-18 48	30.21		405 269.794		18	6 2	12.013	26 2	55.49		358 472.228
	12 0	20 38	39.459	-17 49	27.58		404 994.639		23 0	6 18	59.100	25 40	26.96		358 202.124
	6	20 50	18.358	-16 47	44.05		404 657.726		6	6 35	40.018	25 10	46.79		358 050.367
	12	21 1	50.473	-15 43	29.22		404 257.739		12	6 52	12.332	24 34	8.11		358 017.353
	18	21 13	16.328	-14 36	52.52		403 793.542		18	7 8	33.879	23 50	47.87		358 102.596
	13 0	21 24	36.512	-13 28	3.21		403 264.196		24 0	7 24	42.806	23 1	6.31		358 304.738
	6	21 35	51.670	-12 17	10.41		402 668.990		6	7 40	37.606	22 5	26.40		358 621.577
	12	21 47	2.502	-11 4	23.07		402 007.456		12	7 56	17.119	21 4	13.30		359 050.099
	18	21 58	9.754	- 9 49	50.00		401 279.396		18	8 11	40.536	19 57	53.75		359 586.533

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km		
Juin	25 0	8 26 47.379	18 46 55.51	360 226.404	Juill.	6 0	17 55 16.808	-26 10 26.21	405 029.282
	6	8 41 37.473	17 31 46.86	360 964.602		6	18 8 28.711	-25 55 38.37	405 324.210
	12	8 56 10.918	16 12 56.14	361 795.451		12	18 21 35.915	-25 36 24.02	405 577.534
	18	9 10 28.054	14 50 51.36	362 712.798		18	18 34 37.669	-25 12 49.03	405 789.459
	26 0	9 24 29.420	13 25 59.91	363 710.079		7 0	18 47 33.304	-24 45 0.10	405 960.095
	6	9 38 15.725	11 58 48.30	364 780.411		6	19 0 22.241	-24 13 4.75	406 089.461
	12	9 51 47.814	10 29 41.98	365 916.676		12	19 13 3.999	-23 37 11.14	406 177.471
	18	10 5 6.633	8 59 5.22	367 111.596		18	19 25 38.201	-22 57 28.02	406 223.941
	27 0	10 18 13.210	7 27 21.05	368 357.812		8 0	19 38 4.574	-22 14 4.60	406 228.583
	6	10 31 8.625	5 54 51.21	369 647.959		6	19 50 22.949	-21 27 10.49	406 191.008
	12	10 43 53.998	4 21 56.20	370 974.735		12	20 2 33.263	-20 36 55.55	406 110.733
	18	10 56 30.466	2 48 55.27	372 330.961		18	20 14 35.551	-19 43 29.86	405 987.185
28 0	11 8 59.171	1 16 6.48	373 709.639	9 0	20 26 29.941	-18 47 3.60	405 819.709		
6	11 21 21.251	- 0 16 13.18	375 104.003	6	20 38 16.653	-17 47 47.02	405 607.580		
12	11 33 37.829	- 1 47 47.77	376 507.558	12	20 49 55.988	-16 45 50.35	405 350.013		
18	11 45 50.006	- 3 18 22.24	377 914.121	18	21 1 28.326	-15 41 23.77	405 046.178		
29 0	11 57 58.851	- 4 47 42.40	379 317.849	10 0	21 12 54.115	-14 34 37.38	404 695.215		
6	12 10 5.400	- 6 15 34.79	380 713.260	6	21 24 13.869	-13 25 41.15	404 296.253		
12	12 22 10.648	- 7 41 46.62	382 095.255	12	21 35 28.159	-12 14 44.93	403 848.424		
18	12 34 15.544	- 9 6 5.64	383 459.126	18	21 46 37.609	-11 1 58.42	403 350.888		
30 0	12 46 20.988	-10 28 20.10	384 800.564	11 0	21 57 42.892	- 9 47 31.21	402 802.849		
6	12 58 27.823	-11 48 18.66	386 115.659	6	22 8 44.724	- 8 31 32.75	402 203.582		
12	13 10 36.833	-13 5 50.35	387 400.899	12	22 19 43.861	- 7 14 12.42	401 552.452		
18	13 22 48.734	-14 20 44.50	388 653.161	18	22 30 41.098	- 5 55 39.48	400 848.941		
Juill.	1 0	13 35 4.173	-15 32 50.70	389 869.704	12 0	22 41 37.261	- 4 36 3.21	400 092.667	
	6	13 47 23.718	-16 41 58.79	391 048.152	6	22 52 33.209	- 3 15 32.87	399 283.417	
	12	13 59 47.854	-17 47 58.87	392 186.479	12	23 3 29.833	- 1 54 17.77	398 421.162	
	18	14 12 16.976	-18 50 41.24	393 282.991	18	23 14 28.050	- 0 32 27.35	397 506.091	
	2 0	14 24 51.382	-19 49 56.47	394 336.307	13 0	23 25 28.804	0 49 48.79	396 538.630	
	6	14 37 31.272	-20 45 35.41	395 345.333	6	23 36 33.066	2 12 20.79	395 519.466	
	12	14 50 16.736	-21 37 29.22	396 309.244	12	23 47 41.829	3 34 58.50	394 449.577	
	18	15 3 7.756	-22 25 29.46	397 227.456	18	23 58 56.108	4 57 31.37	393 330.245	
	3 0	15 16 4.200	-23 9 28.13	398 099.605	14 0	0 10 16.936	6 19 48.39	392 163.088	
	6	15 29 5.822	-23 49 17.74	398 925.519	6	0 21 45.363	7 41 37.98	390 950.071	
	12	15 42 12.266	-24 24 51.39	399 705.191	12	0 33 22.450	9 2 47.94	389 693.530	
	18	15 55 23.062	-24 56 2.90	400 438.762	18	0 45 9.262	10 23 5.35	388 396.185	
4 0	16 8 37.641	-25 22 46.83	401 126.486	15 0	0 57 6.865	11 42 16.48	387 061.156		
6	16 21 55.338	-25 44 58.61	401 768.716	6	1 9 16.310	13 0 6.72	385 691.972		
12	16 35 15.402	-26 2 34.59	402 365.871	12	1 21 38.630	14 16 20.50	384 292.578		
18	16 48 37.015	-26 15 32.13	402 918.421	18	1 34 14.817	15 30 41.26	382 867.340		
5 0	17 1 59.302	-26 23 49.64	403 426.861	16 0	1 47 5.815	16 42 51.38	381 421.043		
6	17 15 21.353	-26 27 26.63	403 891.694	6	2 0 12.489	17 52 32.17	379 958.889		
12	17 28 42.237	-26 26 23.71	404 313.409	12	2 13 35.611	18 59 23.89	378 486.480		
18	17 42 1.026	-26 20 42.63	404 692.467	18	2 27 15.829	20 3 5.81	377 009.810		

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Juill. 17 0	2 41 13.640	21 3 16.25	375 535.237	Juill. 28 0	13 21 1.125	-14 12 41.03	384 067.473
6	2 55 29.359	21 59 32.78	374 069.459	6	13 33 32.046	-15 26 40.62	385 544.580
12	3 10 3.089	22 51 32.42	372 619.475	12	13 46 5.912	-16 37 28.23	386 992.027
18	3 24 54.686	23 38 51.85	371 192.549	18	13 58 43.197	-17 44 54.18	388 404.860
18 0	3 40 3.736	24 21 7.81	369 796.158	29 0	14 11 24.290	-18 48 49.23	389 778.554
6	3 55 29.529	24 57 57.44	368 437.939	6	14 24 9.485	-19 49 4.62	391 109.029
12	4 11 11.045	25 28 58.75	367 125.624	12	14 36 58.984	-20 45 32.01	392 392.636
18	4 27 6.949	25 53 51.13	365 866.976	18	14 49 52.888	-21 38 3.54	393 626.159
19 0	4 43 15.597	26 12 15.85	364 669.715	30 0	15 2 51.194	-22 26 31.85	394 806.803
6	4 59 35.059	26 23 56.59	363 541.439	6	15 15 53.798	-23 10 50.10	395 932.187
12	5 16 3.155	26 28 39.95	362 489.543	12	15 29 0.489	-23 50 52.00	397 000.321
18	5 32 37.504	26 26 15.93	361 521.129	18	15 42 10.956	-24 26 31.89	398 009.602
20 0	5 49 15.588	26 16 38.27	360 642.933	31 0	15 55 24.789	-24 57 44.79	398 958.786
6	6 5 54.823	25 59 44.74	359 861.230	6	16 8 41.484	-25 24 26.44	399 846.972
12	6 22 32.633	25 35 37.28	359 181.752	12	16 22 0.454	-25 46 33.36	400 673.584
18	6 39 6.527	25 4 22.03	358 609.616	18	16 35 21.039	-26 4 2.91	401 438.344
21 0	6 55 34.166	24 26 9.21	358 149.248	Août 1 0	16 48 42.514	-26 16 53.34	402 141.254
6	7 11 53.424	23 41 12.90	357 804.313	6	17 2 4.108	-26 25 3.80	402 782.569
12	7 28 2.439	22 49 50.67	357 577.670	12	17 15 25.017	-26 28 34.41	403 362.775
18	7 43 59.639	21 52 23.17	357 471.325	18	17 28 44.421	-26 27 26.25	403 882.565
22 0	7 59 43.768	20 49 13.68	357 486.392	2 0	17 42 1.497	-26 21 41.34	404 342.815
6	8 15 13.886	19 40 47.54	357 623.081	6	17 55 15.442	-26 11 22.67	404 744.557
12	8 30 29.364	18 27 31.69	357 880.692	12	18 8 25.484	-25 56 34.15	405 088.960
18	8 45 29.865	17 9 54.17	358 257.622	18	18 21 30.897	-25 37 20.57	405 377.301
23 0	9 0 15.319	15 48 23.62	358 751.384	3 0	18 34 31.013	-25 13 47.56	405 610.947
6	9 14 45.897	14 23 28.89	359 358.648	6	18 47 25.238	-24 46 1.49	405 791.330
12	9 29 1.978	12 55 38.69	360 075.283	12	19 0 13.054	-24 14 9.48	405 919.923
18	9 43 4.115	11 25 21.24	360 896.411	18	19 12 54.030	-23 38 19.24	405 998.224
24 0	9 56 53.009	9 53 4.04	361 816.484	4 0	19 25 27.826	-22 58 39.05	406 027.735
6	10 10 29.474	8 19 13.68	362 829.346	6	19 37 54.195	-22 15 17.66	406 009.940
12	10 23 54.416	6 44 15.69	363 928.319	12	19 50 12.981	-21 28 24.22	405 946.293
18	10 37 8.807	5 8 34.41	365 106.281	18	20 2 24.121	-20 38 8.21	405 838.198
25 0	10 50 13.664	3 32 32.97	366 355.756	5 0	20 14 27.642	-19 44 39.35	405 686.998
6	11 3 10.035	1 56 33.23	367 668.996	6	20 26 23.656	-18 48 7.58	405 493.960
12	11 15 58.976	0 20 55.79	369 038.064	12	20 38 12.354	-17 48 42.97	405 260.266
18	11 28 41.549	- 1 13 59.96	370 454.918	18	20 49 54.006	-16 46 35.69	404 987.004
26 0	11 41 18.800	- 2 47 55.82	371 911.487	6 0	21 1 28.949	-15 41 55.94	404 675.160
6	11 53 51.760	- 4 20 34.73	373 399.741	6	21 12 57.586	-14 34 53.96	404 325.613
12	12 6 21.427	- 5 51 40.66	374 911.762	12	21 24 20.380	-13 25 39.99	403 939.135
18	12 18 48.768	- 7 20 58.59	376 439.804	18	21 35 37.848	-12 14 24.23	403 516.388
27 0	12 31 14.706	- 8 48 14.39	377 976.344	7 0	21 46 50.554	-11 1 16.84	403 057.924
6	12 43 40.118	-10 13 14.75	379 514.136	6	21 57 59.109	- 9 46 27.98	402 564.192
12	12 56 5.826	-11 35 47.12	381 046.247	12	22 9 4.164	- 8 30 7.72	402 035.545
18	13 8 32.595	-12 55 39.63	382 566.095	18	22 20 6.405	- 7 12 26.16	401 472.240

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km
Août	8 0	22 31	6.555	- 5 53	33.34		400 874.459	Août	19 0	8 34	0.128	18 9	35.41		359 676.147
	6	22 42	5.366	- 4 33	39.34		400 242.312		6	8 48	50.037	16 51	53.71		359 640.187
	12	22 53	3.619	- 3 12	54.27		399 575.858		12	9 3	27.647	15 30	15.38		359 713.905
	18	23 4	2.121	- 1 51	28.28		398 875.114		18	9 17	53.072	14 5	6.81		359 898.135
	9 0	23 15	1.703	- 0 29	31.63		398 140.080	20 0	9 32	6.606	12 36	54.73		360 192.909	
	6	23 26	3.219	0 52	45.27		397 370.754	6	9 46	8.697	11 6	5.98		360 597.438	
	12	23 37	7.544	2 15	11.84		396 567.153	12	9 59	59.922	9 33	7.27		361 110.124	
	18	23 48	15.573	3 37	37.29		395 729.336	18	10 13	40.968	7 58	24.91		361 728.571	
	10 0	23 59	28.214	4 59	50.52		394 857.428	21 0	10 27	12.604	6 22	24.70		362 449.607	
	6	0 10	46.392	6 21	40.14		393 951.641	6	10 40	35.665	4 45	31.76		363 269.321	
	12	0 22	11.042	7 42	54.34		393 012.303	12	10 53	51.030	3 8	10.41		364 183.112	
	18	0 33	43.105	9 3	20.88		392 039.878	18	11 6	59.612	1 30	44.07		365 185.739	
	11 0	0 45	23.525	10 22	47.05		391 034.998	22 0	11 20	2.337	- 0 6	24.76		366 271.382	
	6	0 57	13.240	11 40	59.55		389 998.480	6	11 33	0.134	- 1 42	54.61		367 433.713	
	12	1 9	13.177	12 57	44.48		388 931.357	12	11 45	53.924	- 3 18	25.01		368 665.962	
	18	1 21	24.242	14 12	47.32		387 834.901	18	11 58	44.609	- 4 52	36.52		369 960.993	
	12 0	1 33	47.308	15 25	52.83		386 710.642	23 0	12 11	33.066	- 6 25	10.72		371 311.381	
	6	1 46	23.204	16 36	45.07		385 560.395	6	12 24	20.133	- 7 55	50.20		372 709.482	
	12	1 59	12.696	17 45	7.36		384 386.273	12	12 37	6.607	- 9 24	18.53		374 147.512	
	18	2 12	16.474	18 50	42.31		383 190.712	18	12 49	53.235	-10 50	20.22		375 617.615	
	13 0	2 25	35.129	19 53	11.84		381 976.478	24 0	13 2	40.704	-12 13	40.73		377 111.931	
	6	2 39	9.133	20 52	17.25		380 746.684	6	13 15	29.641	-13 34	6.37		378 622.661	
	12	2 52	58.815	21 47	39.29		379 504.797	12	13 28	20.601	-14 51	24.32		380 142.127	
	18	3 7	4.341	22 38	58.33		378 254.640	18	13 41	14.065	-16 5	22.57		381 662.823	
	14 0	3 21	25.685	23 25	54.51		377 000.394	25 0	13 54	10.433	-17 15	49.91		383 177.469	
	6	3 36	2.614	24 8	7.98		375 746.592	6	14 7	10.017	-18 22	35.91		384 679.049	
	12	3 50	54.664	24 45	19.12		374 498.109	12	14 20	13.039	-19 25	30.88		386 160.852	
	18	4 6	1.129	25 17	8.93		373 260.145	18	14 33	19.628	-20 24	25.91		387 616.505	
	15 0	4 21	21.055	25 43	19.27		372 038.207	26 0	14 46	29.814	-21 19	12.83		389 040.000	
	6	4 36	53.239	26 3	33.31		370 838.077	6	14 59	43.530	-22 9	44.24		390 425.716	
	12	4 52	36.240	26 17	35.88		369 665.779	12	15 13	0.610	-22 55	53.50		391 768.438	
	18	5 8	28.401	26 25	13.85		368 527.540	18	15 26	20.792	-23 37	34.77		393 063.367	
	16 0	5 24	27.880	26 26	16.51		367 429.743	27 0	15 39	43.718	-24 14	43.04		394 306.133	
	6	5 40	32.692	26 20	35.90		366 378.868	6	15 53	8.947	-24 47	14.13		395 492.802	
	12	5 56	40.754	26 8	7.08		365 381.445	12	16 6	35.953	-25 15	4.71		396 619.871	
	18	6 12	49.944	25 48	48.30		364 443.979	18	16 20	4.142	-25 38	12.36		397 684.273	
	17 0	6 28	58.157	25 22	41.20		363 572.889	28 0	16 33	32.859	-25 56	35.52		398 683.371	
	6	6 45	3.359	24 49	50.76		362 774.429	6	16 47	1.403	-26 10	13.59		399 614.952	
	12	7 1	3.640	24 10	25.32		362 054.623	12	17 0	29.039	-26 19	6.84		400 477.218	
	18	7 16	57.259	23 24	36.40		361 419.179	18	17 13	55.015	-26 23	16.48		401 268.772	
	18 0	7 32	42.683	22 32	38.49		360 873.421	29 0	17 27	18.575	-26 22	44.59		401 988.611	
	6	7 48	18.609	21 34	48.82		360 422.212	6	17 40	38.975	-26 17	34.13		402 636.107	
	12	8 3	43.984	20 31	27.01		360 069.884	12	17 53	55.500	-26 7	48.88		403 210.993	
	18	8 18	58.007	19 22	54.75		359 820.169	18	18 7	7.473	-25 53	33.43		403 713.344	

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	''	km		h	m	s	°	'	''	km		
Août 30	0	18	20	14.269	-25	34	53.09	404 143.562	Sept. 10	0	3	8	7.180	22	33	18.56	380 625.388
	6	18	33	15.327	-25	11	53.84	404 502.353		6	3	22	18.762	23	19	15.92	379 709.717
	12	18	46	10.156	-24	44	42.30	404 790.710		12	3	36	43.586	24	0	32.68	378 793.393
	18	18	58	58.345	-24	13	25.63	405 009.889		18	3	51	21.122	24	36	52.03	377 878.008
31	0	19	11	39.563	-23	38	11.48	405 161.390	11	0	4	6	10.642	25	7	57.99	376 965.379
	6	19	24	13.565	-22	59	7.92	405 246.931	6	4	21	11.220	25	33	35.60	376 057.563	
	12	19	36	40.194	-22	16	23.38	405 268.431	12	4	36	21.739	25	53	31.24	375 156.871	
	18	19	48	59.375	-21	30	6.61	405 227.983	18	4	51	40.904	26	7	32.85	374 265.868	
Sept. 1	0	20	1	11.119	-20	40	26.58	405 127.831	12	0	5	7	7.261	26	15	30.24	373 387.381
	6	20	13	15.514	-19	47	32.51	404 970.349	6	5	22	39.228	26	17	15.29	372 524.495	
	12	20	25	12.728	-18	51	33.73	404 758.017	12	5	38	15.129	26	12	42.15	371 680.545	
	18	20	37	2.997	-17	52	39.75	404 493.394	18	5	53	53.233	26	1	47.43	370 859.107	
2	0	20	48	46.626	-16	51	0.16	404 179.104	13	0	6	9	31.795	25	44	30.29	370 063.979
	6	21	0	23.982	-15	46	44.65	403 817.802	6	6	25	9.100	25	20	52.48	369 299.159	
	12	21	11	55.485	-14	40	2.95	403 412.164	12	6	40	43.506	24	50	58.38	368 568.820	
	18	21	23	21.612	-13	31	4.88	402 964.858	18	6	56	13.480	24	14	54.92	367 877.275	
3	0	21	34	42.881	-12	20	0.33	402 478.526	14	0	7	11	37.631	23	32	51.47	367 228.941
	6	21	45	59.857	-11	6	59.22	401 955.765	6	7	26	54.739	22	44	59.68	366 628.295	
	12	21	57	13.141	-9	52	11.56	401 399.110	12	7	42	3.772	21	51	33.35	366 079.827	
	18	22	8	23.369	-8	35	47.44	400 811.015	18	7	57	3.898	20	52	48.16	365 587.993	
4	0	22	19	31.209	-7	17	57.04	400 193.841	15	0	8	11	54.490	19	49	1.49	365 157.157
	6	22	30	37.357	-5	58	50.67	399 549.840	6	8	26	35.124	18	40	32.16	364 791.539	
	12	22	41	42.533	-4	38	38.74	398 881.144	12	8	41	5.570	17	27	40.23	364 495.155	
	18	22	52	47.484	-3	17	31.86	398 189.757	18	8	55	25.783	16	10	46.78	364 271.760	
5	0	23	3	52.974	-1	55	40.78	397 477.546	16	0	9	9	35.884	14	50	13.68	364 124.791
	6	23	14	59.787	-0	33	16.49	396 746.237	6	9	23	36.146	13	26	23.40	364 057.313	
	12	23	26	8.724	0	49	29.80	395 997.409	12	9	37	26.975	11	59	38.87	364 071.963	
	18	23	37	20.601	2	12	26.60	395 232.499	18	9	51	8.891	10	30	23.26	364 170.907	
6	0	23	48	36.244	3	35	22.15	394 452.800	17	0	10	4	42.506	8	58	59.89	364 355.792
	6	23	59	56.489	4	58	4.32	393 659.465	6	10	18	8.515	7	25	52.09	364 627.710	
	12	0	11	22.178	6	20	20.66	392 853.518	12	10	31	27.670	5	51	23.06	364 987.169	
	18	0	22	54.155	7	41	58.32	392 035.857	18	10	44	40.769	4	15	55.79	365 434.068	
7	0	0	34	33.261	9	2	44.02	391 207.274	18	0	10	57	48.642	2	39	52.97	365 967.685
	6	0	46	20.329	10	22	24.06	390 368.463	6	11	10	52.137	1	3	36.90	366 586.668	
	12	0	58	16.178	11	40	44.26	389 520.035	12	11	23	52.109	-0	32	30.56	367 289.038	
	18	1	10	21.604	12	57	29.96	388 662.544	18	11	36	49.407	-2	8	8.09	368 072.200	
8	0	1	22	37.369	14	12	26.01	387 796.497	19	0	11	49	44.864	-3	42	54.90	368 932.962
	6	1	35	4.197	15	25	16.77	386 922.385	6	12	2	39.293	-5	16	30.86	369 867.561	
	12	1	47	42.755	16	35	46.11	386 040.698	12	12	15	33.468	-6	48	36.48	370 871.696	
	18	2	0	33.641	17	43	37.44	385 151.953	18	12	28	28.126	-8	18	52.96	371 940.568	
9	0	2	13	37.370	18	48	33.77	384 256.718	20	0	12	41	23.951	-9	47	2.26	373 068.926
	6	2	26	54.359	19	50	17.74	383 355.636	6	12	54	21.570	-11	12	47.08	374 251.115	
	12	2	40	24.907	20	48	31.73	382 449.450	12	13	7	21.546	-12	35	50.93	375 481.129	
	18	2	54	9.176	21	42	57.94	381 539.029	18	13	20	24.367	-13	55	58.14	376 752.667	

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Sept. 21	0 13 33 30.440	-15 12 53.87	378 059.191	Oct. 2	0 22 50 9.800	- 3 33 44.44	396 948.254
	6 13 46 40.090	-16 26 24.18	379 393.979		6 23 1 19.926	- 2 12 9.99	396 096.065
	12 13 59 53.544	-17 36 16.03	380 750.186		12 23 12 32.020	- 0 49 54.23	395 221.713
	18 14 13 10.935	-18 42 17.30	382 120.899		18 23 23 46.906	0 32 51.67	394 329.185
22	0 14 26 32.293	-19 44 16.85	383 499.187	3 0 23 35 5.416	1 55 56.10	393 422.393	
	6 14 39 57.547	-20 42 4.53	384 878.161	6 23 46 28.387	3 19 7.01	392 505.143	
	12 14 53 26.517	-21 35 31.21	386 251.015	12 23 57 56.662	4 42 11.83	391 581.115	
	18 15 6 58.923	-22 24 28.84	387 611.074	18 0 9 31.081	6 4 57.47	390 653.840	
23	0 15 20 34.383	-23 8 50.43	388 951.838	4 0 0 21 12.482	7 27 10.25	389 726.680	
	6 15 34 12.418	-23 48 30.13	390 267.022	6 0 33 1.688	8 48 35.95	388 802.806	
	12 15 47 52.466	-24 23 23.20	391 550.585	12 0 44 59.507	10 8 59.73	387 885.188	
	18 16 1 33.882	-24 53 26.06	392 796.767	18 0 57 6.719	11 28 6.15	386 976.575	
24	0 16 15 15.961	-25 18 36.28	394 000.116	5 0 1 9 24.070	12 45 39.19	386 079.489	
	6 16 28 57.941	-25 38 52.57	395 155.508	6 1 21 52.261	14 1 22.24	385 196.214	
	12 16 42 39.028	-25 54 14.77	396 258.173	12 1 34 31.934	15 14 58.16	384 328.793	
	18 16 56 18.406	-26 4 43.83	397 303.709	18 1 47 23.658	16 26 9.32	383 479.026	
25	0 17 9 55.256	-26 10 21.75	398 288.097	6 0 2 0 27.917	17 34 37.64	382 648.471	
	6 17 23 28.772	-26 11 11.52	399 207.710	6 2 13 45.091	18 40 4.74	381 838.452	
	12 17 36 58.180	-26 7 17.11	400 059.326	12 2 27 15.440	19 42 12.00	381 050.061	
	18 17 50 22.747	-25 58 43.33	400 840.129	18 2 40 59.087	20 40 40.72	380 284.180	
26	0 18 3 41.800	-25 45 35.78	401 547.715	7 0 2 54 56.002	21 35 12.30	379 541.486	
	6 18 16 54.735	-25 28 0.78	402 180.092	6 3 9 5.986	22 25 28.39	378 822.475	
	12 18 30 1.025	-25 6 5.23	402 735.677	12 3 23 28.661	23 11 11.15	378 127.478	
	18 18 43 0.230	-24 39 56.60	403 213.297	18 3 38 3.457	23 52 3.44	377 456.686	
27	0 18 55 51.998	-24 9 42.77	403 612.180	8 0 3 52 49.610	24 27 49.09	376 810.177	
	6 19 8 36.072	-23 35 31.99	403 931.950	6 4 7 46.162	24 58 13.16	376 187.935	
	12 19 21 12.284	-22 57 32.77	404 172.620	12 4 22 51.973	25 23 2.20	375 589.885	
	18 19 33 40.561	-22 15 53.85	404 334.577	18 4 38 5.730	25 42 4.48	375 015.913	
28	0 19 46 0.918	-21 30 44.12	404 418.579	9 0 4 53 25.972	25 55 10.23	374 465.902	
	6 19 58 13.454	-20 42 12.56	404 425.732	6 5 8 51.120	26 2 11.85	373 939.752	
	12 20 10 18.350	-19 50 28.21	404 357.484	12 5 24 19.511	26 3 4.03	373 437.412	
	18 20 22 15.860	-18 55 40.16	404 215.608	18 5 39 49.435	25 57 43.90	372 958.903	
29	0 20 34 6.309	-17 57 57.48	404 002.180	10 0 5 55 19.178	25 46 11.08	372 504.341	
	6 20 45 50.084	-16 57 29.24	403 719.569	6 6 10 47.065	25 28 27.64	372 073.958	
	12 20 57 27.632	-15 54 24.51	403 370.410	12 6 26 11.498	25 4 38.09	371 668.124	
	18 21 8 59.449	-14 48 52.34	402 957.590	18 6 41 30.991	24 34 49.28	371 287.356	
30	0 21 20 26.079	-13 41 1.79	402 484.225	11 0 6 56 44.206	23 59 10.20	370 932.335	
	6 21 31 48.111	-12 31 1.97	401 953.636	6 7 11 49.973	23 17 51.85	370 603.911	
	12 21 43 6.167	-11 19 1.99	401 369.325	12 7 26 47.310	22 31 7.00	370 303.109	
	18 21 54 20.906	-10 5 11.08	400 734.955	18 7 41 35.432	21 39 9.98	370 031.125	
Oct. 1	0 22 5 33.016	- 8 49 38.55	400 054.320	12 0 7 56 13.755	20 42 16.48	369 789.327	
	6 22 16 43.211	- 7 32 33.86	399 331.324	6 8 10 41.894	19 40 43.26	369 579.238	
	12 22 27 52.230	- 6 14 6.66	398 569.950	12 8 24 59.654	18 34 48.04	369 402.532	
	18 22 39 0.834	- 4 54 26.81	397 774.238	18 8 39 7.018	17 24 49.23	369 261.005	

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km		
Oct. 13	0	8	53	4.137	16	11	5.78	369 156.564	Oct. 24	0	18	38	14.074	-24	34	10.42	401 687.556
	6	9	6	51.306	14	53	57.05	369 091.191		6	18	51	12.762	-24	5	6.23	402 264.513
	12	9	20	28.951	13	33	42.69	369 066.923		12	19	4	2.852	-23	32	3.65	402 769.250
	18	9	33	57.611	12	10	42.49	369 085.813		18	19	16	44.156	-22	55	12.15	403 199.238
14	0	9	47	17.920	10	45	16.36	369 149.896	25	0	19	29	16.597	-22	14	41.36	403 552.323
	6	10	0	30.590	9	17	44.20	369 261.154		6	19	41	40.199	-21	30	40.99	403 826.725
	12	10	13	36.396	7	48	25.93	369 421.478		12	19	53	55.085	-20	43	20.74	404 021.056
	18	10	26	36.161	6	17	41.35	369 632.625		18	20	6	1.471	-19	52	50.24	404 134.318
15	0	10	39	30.744	4	45	50.21	369 896.182	26	0	20	17	59.655	-18	59	19.01	404 165.911
	6	10	52	21.027	3	13	12.10	370 213.530		6	20	29	50.014	-18	2	56.44	404 115.636
	12	11	5	7.901	1	40	6.49	370 585.798		12	20	41	32.995	-17	3	51.73	403 983.697
	18	11	17	52.262	0	6	52.70	371 013.840		18	20	53	9.106	-16	2	13.93	403 770.696
16	0	11	30	34.997	-1	26	10.13	371 498.194	27	0	21	4	38.912	-14	58	11.93	403 477.635
	6	11	43	16.977	-2	58	43.06	372 039.057		6	21	16	3.028	-13	51	54.46	403 105.912
	12	11	55	59.044	-4	30	27.37	372 636.262		12	21	27	22.113	-12	43	30.12	402 657.312
	18	12	8	42.011	-6	1	4.57	373 289.253		18	21	38	36.865	-11	33	7.42	402 134.004
17	0	12	21	26.645	-7	30	16.44	373 997.075	28	0	21	49	48.015	-10	20	54.82	401 538.525
	6	12	34	13.663	-8	57	45.07	374 758.363		6	22	0	56.326	-9	7	0.75	400 873.779
	12	12	47	3.725	-10	23	12.92	375 571.334		12	22	12	2.589	-7	51	33.70	400 143.014
	18	12	59	57.420	-11	46	22.83	376 433.791		18	22	23	7.618	-6	34	42.26	399 349.812
18	0	13	12	55.265	-13	6	58.09	377 343.129	29	0	22	34	12.249	-5	16	35.13	398 498.073
	6	13	25	57.690	-14	24	42.53	378 296.343		6	22	45	17.339	-3	57	21.29	397 591.992
	12	13	39	5.032	-15	39	20.55	379 290.048		12	22	56	23.760	-2	37	9.94	396 636.041
	18	13	52	17.530	-16	50	37.20	380 320.498		18	23	7	32.402	-1	16	10.67	395 634.944
19	0	14	5	35.313	-17	58	18.29	381 383.608	30	0	23	18	44.166	0	5	26.53	394 593.650
	6	14	18	58.400	-19	2	10.44	382 474.989		6	23	29	59.967	1	27	31.20	393 517.310
	12	14	32	26.691	-20	2	1.19	383 589.972		12	23	41	20.726	2	49	52.31	392 411.241
	18	14	45	59.966	-20	57	39.08	384 723.646		18	23	52	47.369	4	12	18.22	391 280.900
20	0	14	59	37.887	-21	48	53.71	385 870.896	31	0	0	4	20.826	5	34	36.64	390 131.843
	6	15	13	19.997	-22	35	35.87	387 026.438		6	0	16	2.020	6	56	34.51	388 969.697
	12	15	27	5.727	-23	17	37.59	388 184.855		12	0	27	51.866	8	17	58.01	387 800.119
	18	15	40	54.404	-23	54	52.18	389 340.644		18	0	39	51.260	9	38	32.51	386 628.757
21	0	15	54	45.261	-24	27	14.33	390 488.248	Nov. 1	0	0	52	1.074	10	58	2.52	385 461.211
	6	16	8	37.455	-24	54	40.13	391 622.096		6	1	4	22.142	12	16	11.67	384 302.996
	12	16	22	30.077	-25	17	7.06	392 736.645		12	1	16	55.249	13	32	42.76	383 159.498
	18	16	36	22.174	-25	34	34.02	393 826.412		18	1	29	41.116	14	47	17.73	382 035.936
22	0	16	50	12.771	-25	47	1.29	394 886.011	2	0	1	42	40.383	15	59	37.74	380 937.322
	6	17	4	0.887	-25	54	30.51	395 910.188		6	1	55	53.592	17	9	23.23	379 868.428
	12	17	17	45.560	-25	57	4.57	396 893.851		12	2	9	21.167	18	16	14.03	378 833.743
	18	17	31	25.862	-25	54	47.59	397 832.102		18	2	23	3.392	19	19	49.52	377 837.444
23	0	17	45	0.923	-25	47	44.74	398 720.262	3	0	2	37	0.390	20	19	48.78	376 883.369
	6	17	58	29.941	-25	36	2.21	399 553.901		6	2	51	12.103	21	15	50.84	375 974.983
	12	18	11	52.202	-25	19	47.02	400 328.856		12	3	5	38.270	22	7	34.90	375 115.363
	18	18	25	7.085	-24	59	6.97	401 041.261		18	3	20	18.416	22	54	40.64	374 307.175

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Nov. 4 0	3 35 11.836	23 36 48.53	373 552.667	Nov. 15 0	13 47 43.273	-16 28 39.94	383 046.406
6	3 50 17.591	24 13 40.18	372 853.654	6	14 0 47.979	-17 35 46.55	383 873.131
12	4 5 34.511	24 44 58.69	372 211.523	12	14 13 59.006	-18 39 21.38	384 718.368
18	4 21 1.206	25 10 28.97	371 627.234	18	14 27 16.356	-19 39 11.44	385 580.706
5 0	4 36 36.085	25 29 58.11	371 101.325	16 0	14 40 39.901	-20 35 4.41	386 458.489
6	4 52 17.387	25 43 15.64	370 633.935	6	14 54 9.383	-21 26 48.78	387 349.810
12	5 8 3.217	25 50 13.79	370 224.816	12	15 7 44.413	-22 14 13.97	388 252.518
18	5 23 51.595	25 50 47.70	369 873.360	18	15 21 24.472	-22 57 10.43	389 164.212
6 0	5 39 40.502	25 44 55.46	369 578.629	17 0	15 35 8.915	-23 35 29.77	390 082.254
6	5 55 27.937	25 32 38.20	369 339.385	6	15 48 56.985	-24 9 4.87	391 003.775
12	6 11 11.964	25 14 0.03	369 154.128	12	16 2 47.816	-24 37 49.93	391 925.690
18	6 26 50.763	24 49 7.86	369 021.132	18	16 16 40.460	-25 1 40.60	392 844.712
7 0	6 42 22.671	24 18 11.27	368 938.484	18 0	16 30 33.895	-25 20 34.01	393 757.366
6	6 57 46.218	23 41 22.20	368 904.127	6	16 44 27.054	-25 34 28.77	394 660.019
12	7 13 0.150	22 58 54.71	368 915.900	12	16 58 18.840	-25 43 25.01	395 548.891
18	7 28 3.447	22 11 4.60	368 971.577	18	17 12 8.158	-25 47 24.33	396 420.086
8 0	7 42 55.327	21 18 9.17	369 068.907	19 0	17 25 53.930	-25 46 29.76	397 269.613
6	7 57 35.248	20 20 26.81	369 205.653	6	17 39 35.124	-25 40 45.66	398 093.416
12	8 12 2.895	19 18 16.76	369 379.623	12	17 53 10.769	-25 30 17.63	398 887.398
18	8 26 18.170	18 11 58.84	369 588.704	18	18 6 39.980	-25 15 12.39	399 647.449
9 0	8 40 21.173	17 1 53.16	369 830.891	20 0	18 20 1.964	-24 55 37.66	400 369.474
6	8 54 12.180	15 48 19.97	370 104.309	6	18 33 16.041	-24 31 41.97	401 049.423
12	9 7 51.621	14 31 39.46	370 407.237	12	18 46 21.646	-24 3 34.55	401 683.313
18	9 21 20.063	13 12 11.65	370 738.118	18	18 59 18.338	-23 31 25.19	402 267.264
10 0	9 34 38.182	11 50 16.28	371 095.577	21 0	19 12 5.796	-22 55 24.07	402 797.518
6	9 47 46.749	10 26 12.74	371 478.423	6	19 24 43.826	-22 15 41.63	403 270.469
12	10 0 46.606	9 0 20.04	371 885.653	12	19 37 12.349	-21 32 28.47	403 682.688
18	10 13 38.655	7 32 56.81	372 316.452	18	19 49 31.403	-20 45 55.24	404 030.947
11 0	10 26 23.840	6 4 21.24	372 770.180	22 0	20 1 41.130	-19 56 12.52	404 312.243
6	10 39 3.132	4 34 51.18	373 246.371	6	20 13 41.773	-19 3 30.77	404 523.821
12	10 51 37.523	3 4 44.09	373 744.709	12	20 25 33.664	-18 8 0.27	404 663.195
18	11 4 8.007	1 34 17.10	374 265.018	18	20 37 17.218	-17 9 51.05	404 728.167
12 0	11 16 35.580	0 3 47.05	374 807.237	23 0	20 48 52.923	-16 9 12.91	404 716.849
6	11 29 1.225	-1 26 29.48	375 371.398	6	21 0 21.335	-15 6 15.33	404 627.680
12	11 41 25.907	-2 56 16.12	375 957.602	12	21 11 43.066	-14 1 7.54	404 459.440
18	11 53 50.562	-4 25 16.71	376 565.989	18	21 22 58.781	-12 53 58.50	404 211.270
13 0	12 6 16.097	-5 53 15.27	377 196.711	24 0	21 34 9.190	-11 44 56.92	403 882.679
6	12 18 43.372	-7 19 55.93	377 849.906	6	21 45 15.042	-10 34 11.26	403 473.567
12	12 31 13.203	-8 45 2.99	378 525.663	12	21 56 17.125	-9 21 49.83	402 984.224
18	12 43 46.348	-10 8 20.88	379 224.000	18	22 7 16.255	-8 8 0.79	402 415.350
14 0	12 56 23.498	-11 29 34.18	379 944.831	25 0	22 18 13.281	-6 52 52.22	401 768.055
6	13 9 5.274	-12 48 27.64	380 687.942	6	22 29 9.073	-5 36 32.16	401 043.871
12	13 21 52.214	-14 4 46.22	381 452.969	12	22 40 4.529	-4 19 8.70	400 244.752
18	13 34 44.765	-15 18 15.14	382 239.369	18	22 51 0.565	-3 0 50.04	399 373.078

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance					
	h	m	s	°	'	"	km		h	m	s	°	'	"	km					
Nov. 26	0	23	1	58.121	-	1	41	44.53	398	431.657	Déc. 7	0	9	21	14.317	12	59	8.64	367	024.686
	6	23	12	58.154	-	0	22	0.81	397	423.719		6	9	34	47.557	11	35	27.69	367	721.727
	12	23	24	1.637	0	58	12.15	396	352.913	12		9	48	9.207	10	9	48.10	368	462.351	
	18	23	35	9.559	2	18	44.98	395	223.300	18		10	1	20.148	8	42	31.14	369	241.739	
27	0	23	46	22.922	3	39	27.78	394	039.344	8	0	10	14	21.334	7	13	57.23	370	055.184	
	6	23	57	42.741	5	0	10.07	392	805.895		6	10	27	13.768	5	44	26.02	370	898.134	
	12	0	9	10.032	6	20	40.71	391	528.177		12	10	39	58.491	4	14	16.31	371	766.224	
	18	0	20	45.819	7	40	47.76	390	211.763		18	10	52	36.562	2	43	46.13	372	655.316	
28	0	0	32	31.118	9	0	18.48	388	862.556	9	0	11	5	9.052	1	13	12.79	373	561.514	
	6	0	44	26.935	10	18	59.21	387	486.758		6	11	17	37.028	-	0	17	7.10	374	481.192
	12	0	56	34.257	11	36	35.29	386	090.840		12	11	30	1.550	-	1	46	57.53	375	411.005
	18	1	8	54.036	12	52	51.06	384	681.507		18	11	42	23.655	-	3	16	3.05	376	347.898
29	0	1	21	27.180	14	7	29.78	383	265.658	10	0	11	54	44.358	-	4	44	8.69	377	289.109
	6	1	34	14.533	15	20	13.64	381	850.341		6	12	7	4.637	-	6	10	59.89	378	232.169
	12	1	47	16.861	16	30	43.79	380	442.711		12	12	19	25.434	-	7	36	22.49	379	174.897
	18	2	0	34.823	17	38	40.33	379	049.974		18	12	31	47.643	-	9	0	2.59	380	115.390
30	0	2	14	8.953	18	43	42.47	377	679.334	11	0	12	44	12.103	-10	21	46.59	381	052.007	
	6	2	27	59.634	19	45	28.60	376	337.940		6	12	56	39.594	-11	41	21.11	381	983.357	
	12	2	42	7.065	20	43	36.50	375	032.824		12	13	9	10.829	-12	58	32.99	382	908.273	
	18	2	56	31.243	21	37	43.58	373	770.839		18	13	21	46.443	-14	13	9.26	383	825.798	
Déc. 1	0	3	11	11.930	22	27	27.14	372	558.605	12	0	13	34	26.990	-15	24	57.16	384	735.154	
	6	3	26	8.632	23	12	24.73	371	402.440		6	13	47	12.929	-16	33	44.16	385	635.721	
	12	3	41	20.587	23	52	14.56	370	308.306		12	14	0	4.622	-17	39	17.99	386	527.009	
	18	3	56	46.748	24	26	35.86	369	281.748		18	14	13	2.320	-18	41	26.67	387	408.630	
2	0	4	12	25.789	24	55	9.43	368	327.844	13	0	14	26	6.162	-19	39	58.63	388	280.271	
	6	4	28	16.111	25	17	38.02	367	451.153		6	14	39	16.162	-20	34	42.72	389	141.668	
	12	4	44	15.870	25	33	46.85	366	655.665		12	14	52	32.211	-21	25	28.35	389	992.577	
	18	5	0	23.010	25	43	23.96	365	944.776		18	15	5	54.068	-22	12	5.56	390	832.749	
3	0	5	16	35.309	25	46	20.60	365	321.248	14	0	15	19	21.365	-22	54	25.15	391	661.907	
	6	5	32	50.439	25	42	31.51	364	787.188		6	15	32	53.602	-23	32	18.80	392	479.718	
	12	5	49	6.027	25	31	55.03	364	344.035		12	15	46	30.161	-24	5	39.15	393	285.777	
	18	6	5	19.725	25	14	33.24	363	992.560		18	16	0	10.306	-24	34	19.92	394	079.582	
4	0	6	21	29.268	24	50	31.84	363	732.862	15	0	16	13	53.201	-24	58	16.03	394	860.521	
	6	6	37	32.542	24	19	59.99	363	564.389		6	16	27	37.922	-25	17	23.67	395	627.854	
	12	6	53	27.627	23	43	10.11	363	485.958		12	16	41	23.473	-25	31	40.34	396	380.700	
	18	7	9	12.845	23	0	17.45	363	495.787		18	16	55	8.811	-25	41	4.96	397	118.029	
5	0	7	24	46.786	22	11	39.77	363	591.531	16	0	17	8	52.865	-25	45	37.82	397	838.655	
	6	7	40	8.322	21	17	36.85	363	770.333		6	17	22	34.556	-25	45	20.62	398	541.227	
	12	7	55	16.612	20	18	30.11	364	028.869		12	17	36	12.826	-25	40	16.43	399	224.233	
	18	8	10	11.097	19	14	42.11	364	363.410		18	17	49	46.655	-25	30	29.60	399	885.996	
6	0	8	24	51.486	18	6	36.23	364	769.877	17	0	18	3	15.082	-25	16	5.74	400	524.679	
	6	8	39	17.732	16	54	36.20	365	243.903		6	18	16	37.223	-24	57	11.56	401	138.291	
	12	8	53	30.011	15	39	5.88	365	780.899		12	18	29	52.289	-24	33	54.79	401	724.695	
	18	9	7	28.694	14	20	28.94	366	376.111		18	18	42	59.594	-24	6	24.03	402	281.617	

LUNE 2009 à 0h, 6h, 12h, 18h, TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	km		h m s	° ' "	km
Déc. 18 0	18 55 58.564	-23 34 48.64	402 806.663	Déc. 26 0	1 1 45.832	12 17 43.27	389 660.628
6	19 8 48.745	-22 59 18.55	403 297.328	6	1 13 52.924	13 31 11.49	388 208.389
12	19 21 29.801	-22 20 4.18	403 751.018	12	1 26 13.254	14 43 0.48	386 719.429
18	19 34 1.517	-21 37 16.30	404 165.063	18	1 38 47.748	15 52 54.17	385 199.758
19 0	19 46 23.795	-20 51 5.85	404 536.740	27 0	1 51 37.269	17 0 35.42	383 655.794
6	19 58 36.649	-20 1 43.91	404 863.294	6	2 4 42.592	18 5 46.02	382 094.338
12	20 10 40.195	-19 9 21.55	405 141.958	12	2 18 4.389	19 8 6.71	380 522.545
18	20 22 34.652	-18 14 9.75	405 369.978	18	2 31 43.194	20 7 17.26	378 947.885
20 0	20 34 20.325	-17 16 19.35	405 544.633	28 0	2 45 39.383	21 2 56.60	377 378.105
6	20 45 57.603	-16 16 0.98	405 663.264	6	2 59 53.142	21 54 42.97	375 821.177
12	20 57 26.948	-15 13 25.02	405 723.296	12	3 14 24.438	22 42 14.18	374 285.246
18	21 8 48.889	-14 8 41.59	405 722.264	18	3 29 12.995	23 25 7.83	372 778.570
21 0	21 20 4.012	-13 2 0.49	405 657.836	29 0	3 44 18.267	24 3 1.77	371 309.456
6	21 31 12.959	-11 53 31.25	405 527.839	6	3 59 39.426	24 35 34.38	369 886.185
12	21 42 16.414	-10 43 23.09	405 330.288	12	4 15 15.347	25 2 25.13	368 516.943
18	21 53 15.105	-9 31 45.00	405 063.401	18	4 31 4.615	25 23 14.99	367 209.737
22 0	22 4 9.796	-8 18 45.67	404 725.636	30 0	4 47 5.534	25 37 46.96	365 972.322
6	22 15 1.284	-7 4 33.63	404 315.702	6	5 3 16.158	25 45 46.58	364 812.109
12	22 25 50.396	-5 49 17.20	403 832.592	12	5 19 34.327	25 47 2.33	363 736.094
18	22 36 37.985	-4 33 4.60	403 275.601	18	5 35 57.724	25 41 26.08	362 750.771
23 0	22 47 24.930	-3 16 3.97	402 644.348	31 0	5 52 23.930	25 28 53.38	361 862.057
6	22 58 12.134	-1 58 23.46	401 938.796	6	6 8 50.497	25 9 23.64	361 075.222
12	23 9 0.522	-0 40 11.25	401 159.275	12	6 25 15.015	24 43 0.25	360 394.826
18	23 19 51.040	0 38 24.35	400 306.495	18	6 41 35.180	24 9 50.51	359 824.659
24 0	23 30 44.652	1 57 14.82	399 381.569	32 0	6 57 48.857	23 30 5.49	359 367.694
6	23 41 42.342	3 16 11.38	398 386.023	6	7 13 54.128	22 43 59.74	359 026.062
12	23 52 45.112	4 35 4.88	397 321.814	12	7 29 49.331	21 51 50.97	358 801.017
18	0 3 53.975	5 53 45.74	396 191.338	18	7 45 33.091	20 53 59.60	358 692.929
25 0	0 15 9.959	7 12 3.85	394 997.441	33 0	8 1 4.326	19 50 48.28	358 701.291
6	0 26 34.099	8 29 48.49	393 743.426	6	8 16 22.254	18 42 41.47	358 824.735
12	0 38 7.436	9 46 48.22	392 433.059	12	8 31 26.379	17 30 4.90	359 061.053
18	0 49 51.005	11 2 50.84	391 070.564	18	8 46 16.473	16 13 25.16	359 407.244

PLANÈTES PRINCIPALES

Coordonnées héliocentriques :
Longitude, latitude, rayon vecteur.

MERCURE	II. 54
VÉNUS	II. 58
MARS	II. 60
JUPITER, SATURNE, URANUS, NEPTUNE	II. 61

Coordonnées géocentriques :
Ascension droite et déclinaison apparentes, distance à la Terre.

MERCURE	II. 62
VÉNUS	II. 66
MARS	II. 70
JUPITER	II. 74
SATURNE	II. 78
URANUS	II. 82
NEPTUNE	II. 86

MERCURE 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et éclipse moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua				
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"					
Janv.	0	359	45	55.65	-	5	15	42.72	0.355 431 10	Févr.	15	224	38	4.91	0	27	8.76	0.448 133 16	
	1	4	35	38.30	-	4	51	14.86	0.349 807 51		16	227	34	50.01	0	5	26.94	0.451 157 80	
	2	9	34	18.91	-	4	23	50.45	0.344 328 79		17	230	29	19.61	-	0	15	59.14	0.453 923 31
	3	14	42	5.23	-	3	53	29.39	0.339 041 63		18	233	21	48.96	-	0	37	7.96	0.456 425 65
	4	19	58	59.51	-	3	20	15.13	0.333 995 21		19	236	12	32.75	-	0	57	58.15	0.458 661 33
	5	25	24	57.47	-	2	44	15.36	0.329 240 62		20	239	1	45.14	-	1	18	28.50	0.460 627 37
	6	30	59	47.08	-	2	5	42.69	0.324 830 02		21	241	49	39.88	-	1	38	37.84	0.462 321 25
	7	36	43	7.55	-	1	24	55.21	0.320 815 58		22	244	36	30.31	-	1	58	25.09	0.463 740 88
	8	42	34	28.38	-	0	42	16.81	0.317 248 21		23	247	22	29.44	-	2	17	49.22	0.464 884 56
	9	48	33	8.68	0	1	42.84	0.314 176 12	24		250	7	50.04	-	2	36	49.19	0.465 750 94	
	10	54	38	16.89	0	46	28.72	0.311 643 15	25		252	52	44.63	-	2	55	23.97	0.466 339 04	
	11	60	48	50.98	1	31	21.30	0.309 687 20	26		255	37	25.58	-	3	13	32.49	0.466 648 20	
	12	67	3	39.21	2	15	38.00	0.308 338 67	27		258	22	5.16	-	3	31	13.65	0.466 678 05	
	13	73	21	21.52	2	58	34.90	0.307 619 09	28		261	6	55.56	-	3	48	26.27	0.466 428 58	
14	79	40	31.54	3	39	28.83	0.307 540 17	Mars	1	263	52	8.98	-	4	5	9.10	0.465 900 06		
15	85	59	39.11	4	17	39.45	0.308 103 20	2	266	37	57.67	-	4	21	20.78	0.465 093 09			
16	92	17	13.17	4	52	31.23	0.309 298 99	3	269	24	33.96	-	4	36	59.84	0.464 008 58			
17	98	31	44.71	5	23	35.07	0.311 108 36	4	272	12	10.35	-	4	52	4.66	0.462 647 82			
18	104	41	49.71	5	50	29.33	0.313 502 96	5	275	0	59.52	-	5	6	33.47	0.461 012 41			
19	110	46	11.65	6	13	0.36	0.316 446 60	6	277	51	14.39	-	5	20	24.33	0.459 104 37			
20	116	43	43.53	6	31	2.32	0.319 896 74	7	280	43	8.19	-	5	33	35.08	0.456 926 12			
21	122	33	29.22	6	44	36.61	0.323 806 10	8	283	36	54.50	-	5	46	3.35	0.454 480 54			
22	128	14	44.11	6	53	50.83	0.328 124 29	9	286	32	47.30	-	5	57	46.53	0.451 771 00			
23	133	46	55.15	6	58	57.57	0.332 799 32	10	289	31	0.99	-	6	8	41.72	0.448 801 43			
24	139	9	40.32	7	0	13.14	0.337 778 92	11	292	31	50.49	-	6	18	45.74	0.445 576 35			
25	144	22	47.72	6	57	56.30	0.343 011 66	12	295	35	31.25	-	6	27	55.10	0.442 100 98			
26	149	26	14.38	6	52	27.19	0.348 447 82	13	298	42	19.32	-	6	36	5.92	0.438 381 26			
27	154	20	4.93	6	44	6.37	0.354 040 05	14	301	52	31.36	-	6	43	13.98	0.434 424 00			
28	159	4	30.24	6	33	14.11	0.359 743 81	15	305	6	24.70	-	6	49	14.65	0.430 236 94			
29	163	39	46.14	6	20	9.87	0.365 517 66	16	308	24	17.36	-	6	54	2.84	0.425 828 87			
30	168	6	12.24	6	5	11.89	0.371 323 35	17	311	46	28.05	-	6	57	33.05	0.421 209 75			
Févr.	31	172	24	10.88	5	48	37.03	0.377 125 85	18	315	13	16.22	-	6	59	39.29	0.416 390 87		
	1	176	34	6.28	5	30	40.62	0.382 893 31	19	318	45	2.01	-	7	0	15.08	0.411 384 96		
	2	180	36	23.74	5	11	36.43	0.388 596 87	20	322	22	6.24	-	6	59	13.48	0.406 206 42		
	3	184	31	29.13	4	51	36.75	0.394 210 54	21	326	4	50.34	-	6	56	27.07	0.400 871 41		
	4	188	19	48.39	4	30	52.43	0.399 710 99	22	329	53	36.24	-	6	51	48.01	0.395 398 13		
	5	192	1	47.16	4	9	33.00	0.405 077 32	23	333	48	46.29	-	6	45	8.10	0.389 806 97		
	6	195	37	50.59	3	47	46.77	0.410 290 89	24	337	50	43.01	-	6	36	18.86	0.384 120 71		
	7	199	8	23.07	3	25	40.98	0.415 335 11	25	341	59	48.87	-	6	25	11.68	0.378 364 78		
	8	202	33	48.19	3	3	21.89	0.420 195 23	26	346	16	25.99	-	6	11	38.00	0.372 567 38		
	9	205	54	28.62	2	40	54.93	0.424 858 17	27	350	40	55.68	-	5	55	29.60	0.366 759 73		
	10	209	10	46.10	2	18	24.77	0.429 312 34	28	355	13	37.98	-	5	36	38.88	0.360 976 16		
	11	212	23	1.40	1	55	55.42	0.433 547 53	29	359	54	51.01	-	5	14	59.33	0.355 254 22		
	12	215	31	34.39	1	33	30.35	0.437 554 68	30	4	44	50.27	-	4	50	25.98	0.349 634 68		
	13	218	36	44.04	1	11	12.56	0.441 325 86	31	9	43	47.79	-	4	22	56.02	0.344 161 42		
14	221	38	48.44	0	49	4.62	0.444 854 06	Avril	1	14	51	51.14	-	3	52	29.49	0.338 881 24		

MERCURE 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua				
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"					
Avril	2	20	9	2.41	-	3	19	9.93	0.333 843 37	Mai	18	236	17	48.10	-	0	58	36.64	0.458 725 04
	3	25	35	17.06	-	2	43	5.18	0.329 098 94		19	239	6	57.98	-	1	19	6.35	0.460 682 67
	4	31	10	22.83	-	2	4	28.01	0.324 700 13		20	241	54	50.62	-	1	39	15.03	0.462 368 08
	5	36	53	58.62	-	1	23	36.71	0.320 699 09		21	244	41	39.35	-	1	59	1.59	0.463 779 19
	6	42	45	33.61	-	0	40	55.32	0.317 146 67		22	247	27	37.20	-	2	18	25.00	0.464 914 31
	7	48	44	26.60	0	3	6.30	0.314 090 94	23		250	12	56.90	-	2	37	24.21	0.465 772 13	
	8	54	49	45.68	0	47	52.95	0.311 575 59	24		252	57	50.97	-	2	55	58.19	0.466 351 64	
	9	61	0	28.52	1	32	45.03	0.309 638 31	25		255	42	31.78	-	3	14	5.88	0.466 652 20	
	10	67	15	23.09	2	16	59.85	0.308 309 23	26		258	27	11.60	-	3	31	46.17	0.466 673 48	
	11	73	33	9.11	2	59	53.52	0.307 609 59	27		261	12	2.61	-	3	48	57.89	0.466 415 44	
	12	79	52	20.07	3	40	42.90	0.307 550 77	28		263	57	17.02	-	4	5	39.77	0.465 878 38	
	13	86	11	25.73	4	18	47.78	0.308 133 72	29		266	43	7.08	-	4	21	50.46	0.465 062 91	
	14	92	28	55.05	4	53	32.83	0.309 348 96	30		269	29	45.12	-	4	37	28.48	0.463 969 95	
	15	98	43	19.16	5	24	29.15	0.311 176 99	31		272	17	23.65	-	4	52	32.21	0.462 600 79	
	16	104	53	14.24	5	51	15.35	0.313 589 19	Juin		1	275	6	15.34	-	5	6	59.87	0.460 957 06
	17	110	57	24.04	6	13	38.03	0.316 549 18			2	277	56	33.13	-	5	20	49.51	0.459 040 78
18	116	54	41.89	6	31	31.60	0.320 014 22	3		280	48	30.27	-	5	33	58.97	0.456 854 39		
19	122	44	12.01	6	44	57.65	0.323 936 93	4		283	42	20.33	-	5	46	25.87	0.454 400 79		
20	128	25	10.16	6	54	3.96	0.328 266 85	5		286	38	17.31	-	5	58	7.59	0.451 683 35		
21	133	57	3.64	6	59	3.26	0.332 951 96	6		289	36	35.62	-	6	9	1.23	0.448 706 03		
22	139	19	30.77	7	0	11.95	0.337 940 01	7		292	37	30.21	-	6	19	3.59	0.445 473 37		
23	144	32	19.95	6	57	48.84	0.343 179 62	8		295	41	16.54	-	6	28	11.17	0.441 990 60		
24	149	35	28.45	6	52	14.10	0.348 621 12	9		298	48	10.66	-	6	36	20.10	0.438 263 71		
25	154	29	1.12	6	43	48.29	0.354 217 27	10		301	58	29.27	-	6	43	26.12	0.434 299 51		
26	159	13	9.00	6	32	51.66	0.359 923 61	11		305	12	29.70	-	6	49	24.59	0.430 105 78		
27	163	48	8.06	6	19	43.63	0.365 698 79	12		308	30	29.99	-	6	54	10.43	0.425 691 35		
28	168	14	17.99	6	4	42.42	0.371 504 69	13		311	52	48.89	-	6	57	38.11	0.421 066 21		
29	172	32	1.23	5	48	4.82	0.377 306 36	14		315	19	45.86	-	6	59	41.61	0.416 241 69		
30	176	41	42.00	5	30	6.11	0.383 072 05	15		318	51	41.06	-	7	0	14.47	0.411 230 58		
Mai	1	180	43	45.66	5	11	0.04	0.388 773 01		16	322	28	55.32	-	6	59	9.71	0.406 047 31	
	2	184	38	38.06	4	50	58.83	0.394 383 32	17	326	11	50.07	-	6	56	19.92	0.400 708 12		
	3	188	26	45.15	4	30	13.29	0.399 879 72	18	330	0	47.29	-	6	51	37.23	0.395 231 26		
	4	192	8	32.55	4	8	52.91	0.405 241 41	19	333	56	9.31	-	6	44	53.43	0.389 637 18		
	5	195	44	25.39	3	47	5.97	0.410 449 80	20	337	58	18.65	-	6	36	0.05	0.383 948 76		
	6	199	14	48.04	3	24	59.68	0.415 488 37	21	342	7	37.78	-	6	24	48.46	0.378 191 48		
	7	202	40	4.05	3	2	40.27	0.420 342 42	22	346	24	28.79	-	6	11	10.13	0.372 393 65		
	8	206	0	36.07	2	40	13.14	0.424 998 91	23	350	49	12.96	-	5	54	56.84	0.366 586 56		
	9	209	16	45.79	2	17	42.94	0.429 446 32	24	355	22	10.28	-	5	36	1.02	0.360 804 64		
	10	212	28	53.98	1	55	13.67	0.433 674 45	25	0	3	38.79	-	5	14	16.20	0.355 085 54		
	11	215	37	20.47	1	32	48.78	0.437 674 29	26	4	53	53.92	-	4	49	37.48	0.349 470 12		
	12	218	42	24.18	1	10	31.25	0.441 437 94	27	9	53	7.55	-	4	22	2.13	0.344 002 35		
	13	221	44	23.21	0	48	23.64	0.444 958 43	28	15	1	27.10	-	3	51	30.26	0.338 729 08		
	14	224	43	34.83	0	26	28.18	0.448 229 64	29	20	18	54.49	-	3	18	5.56	0.333 699 64		
	15	227	40	15.58	0	4	46.81	0.451 246 26	30	25	45	24.95	-	2	41	56.00	0.328 965 19		
	16	230	34	41.32	-	0	16	38.76	0.454 003 62	Juill.	1	31	20	45.98	-	2	3	14.52	0.324 577 90
17	233	27	7.27	-	0	37	47.03	0.456 497 71	2		37	4	36.20	-	1	22	19.55	0.320 589 90	

MERCURE 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.				
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"		ua			
Juill.	3	42	56	24.48	-	0	39	35.35	0.317 051 98	Août	18	247	32	40.33	-	2	19	0.42	0.464 941 41
	4	48	55	29.31	0	4	28.07	0.314 012 09	19		250	17	59.20	-	2	37	58.88	0.465 790 87	
	5	55	0	58.48	0	49	15.38	0.311 513 77	20		253	2	52.83	-	2	56	32.08	0.466 362 00	
	6	61	11	49.34	1	34	6.85	0.309 594 49	21		255	47	33.56	-	3	14	38.95	0.466 654 17	
	7	67	26	49.61	2	18	19.74	0.308 284 12	22		258	32	13.66	-	3	32	18.39	0.466 667 05	
	8	73	44	38.80	3	1	10.14	0.307 603 62	23		261	17	5.32	-	3	49	29.21	0.466 400 63	
	9	80	3	50.25	3	41	54.99	0.307 564 06	24		264	2	20.75	-	4	6	10.16	0.465 855 19	
	10	86	22	53.70	4	19	54.21	0.308 166 10	25		266	48	12.20	-	4	22	19.87	0.465 031 36	
	11	92	40	18.11	4	54	32.62	0.309 399 92	26		269	34	52.00	-	4	37	56.86	0.463 930 09	
	12	98	54	34.73	5	25	21.56	0.311 245 73	27		272	22	32.66	-	4	52	59.51	0.462 552 65	
	13	105	4	19.95	5	51	59.88	0.313 674 71	28		275	11	26.87	-	5	7	26.03	0.460 900 69	
	14	111	8	17.80	6	14	14.40	0.316 650 22	29		278	1	47.58	-	5	21	14.46	0.458 976 25	
	15	117	5	21.92	6	31	59.78	0.320 129 39	30		280	53	48.03	-	5	34	22.64	0.456 781 78	
	16	122	54	36.87	6	45	17.79	0.324 064 73	31		283	47	41.83	-	5	46	48.19	0.454 320 18	
	17	128	35	18.75	6	54	16.40	0.328 405 72	Sept. 1		286	43	42.97	-	5	58	28.47	0.451 594 86	
	18	134	6	55.22	6	59	8.45	0.333 100 32	2		289	42	5.89	-	6	9	20.57	0.448 609 77	
	19	139	29	4.90	7	0	10.44	0.338 096 29	3		292	43	5.54	-	6	19	21.31	0.445 369 49	
20	144	41	36.47	6	57	41.23	0.343 342 29	4	295	46	57.41	-	6	28	27.13	0.441 879 26			
21	149	44	27.46	6	52	1.01	0.348 788 75	5	298	53	57.57	-	6	36	34.18	0.438 145 10			
22	154	37	42.91	6	43	30.33	0.354 388 47	6	302	4	22.73	-	6	43	38.19	0.434 173 85			
23	159	21	34.01	6	32	29.44	0.360 097 12	7	305	18	30.26	-	6	49	34.51	0.429 973 31			
24	163	56	16.87	6	19	17.72	0.365 873 43	8	308	36	38.21	-	6	54	18.02	0.425 552 35			
25	168	22	11.28	6	4	13.34	0.371 679 38	9	311	59	5.34	-	6	57	43.20	0.420 921 01			
26	172	39	39.72	5	47	33.06	0.377 480 12	10	315	26	11.15	-	6	59	44.01	0.416 090 64			
27	176	49	6.46	5	29	32.11	0.383 243 99	11	318	58	15.81	-	7	0	13.97	0.411 074 10			
28	180	50	56.87	5	10	24.18	0.388 942 33	12	322	35	40.18	-	6	59	6.10	0.405 885 86			
29	184	45	36.83	4	50	21.45	0.394 549 30	13	326	18	45.71	-	6	56	12.95	0.400 542 23			
30	188	33	32.26	4	29	34.71	0.400 041 73	14	330	7	54.38	-	6	51	26.66	0.395 061 51			
31	192	15	8.78	4	8	13.38	0.405 398 87	15	334	3	28.53	-	6	44	39.01	0.389 464 23			
Août 1	195	50	51.48	3	46	25.74	0.410 602 21	16	338	5	50.70	-	6	35	41.50	0.383 773 35			
2	199	21	4.71	3	24	18.94	0.415 635 27	17	342	15	23.34	-	6	24	25.54	0.378 014 43			
3	202	46	12.01	3	1	59.20	0.420 483 41	18	346	32	28.52	-	6	10	42.56	0.372 215 87			
4	206	6	35.99	2	39	31.89	0.425 133 65	19	350	57	27.50	-	5	54	24.39	0.366 409 06			
5	209	22	38.30	2	17	1.64	0.429 574 49	20	355	30	40.20	-	5	35	23.48	0.360 628 54			
6	212	34	39.70	1	54	32.43	0.433 795 78	21	0	12	24.61	-	5	13	33.38	0.354 912 03			
7	215	42	59.97	1	32	7.71	0.437 788 55	22	5	2	56.05	-	4	48	49.27	0.349 300 49			
8	218	47	58.02	1	9	50.42	0.441 544 91	23	10	2	26.29	-	4	21	8.49	0.343 838 01			
9	221	49	51.92	0	47	43.13	0.445 057 92	24	15	11	2.60	-	3	50	31.24	0.338 571 51			
10	224	48	58.92	0	25	48.06	0.448 321 50	25	20	28	46.68	-	3	17	1.35	0.333 550 37			
11	227	45	35.53	0	4	7.13	0.451 330 34	26	25	55	33.59	-	2	40	46.91	0.328 825 81			
12	230	39	57.60	-	0	17	17.95	0.454 079 81	27	31	31	10.52	-	2	2	1.04	0.324 450 01		
13	233	32	20.32	-	0	38	25.68	0.456 565 89	28	37	15	15.84	-	1	21	2.34	0.320 475 09		
14	236	22	58.36	-	0	59	14.72	0.458 785 14	29	43	7	18.11	-	0	38	15.24	0.316 951 75		
15	239	12	5.86	-	1	19	43.82	0.460 734 60	30	49	6	35.47	-	0	5	50.07	0.313 927 86		
16	241	59	56.52	-	1	39	51.85	0.462 411 78	Oct. 1	55	12	15.40	-	0	50	38.11	0.311 446 76		
17	244	46	43.68	-	1	59	37.73	0.463 814 61	2	61	23	14.94	-	1	35	29.03	0.309 545 74		

MERCURE 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua			
Oct.	3	67	38	21.54	2	19	40.03	0.308 254 40	Nov.	18	258	37	15.27	- 3	32	50.48	0.466 663 08	
	4	73	56	14.49	3	2	27.21	0.307 593 41		19	261	22	7.46	- 3	50	0.40	0.466 388 05	
	5	80	15	26.98	3	43	7.55	0.307 573 53		20	264	7	23.79	- 4	6	40.41	0.465 834 03	
	6	86	34	28.66	4	21	1.09	0.308 195 09		21	266	53	16.52	- 4	22	49.14	0.465 001 63	
	7	92	51	48.55	4	55	32.85	0.309 447 96		22	269	39	57.98	- 4	38	25.10	0.463 891 82	
	8	99	5	58.01	5	26	14.38	0.311 312 07		23	272	27	40.69	- 4	53	26.67	0.462 505 88	
	9	105	15	33.63	5	52	44.76	0.313 758 32		24	275	16	37.35	- 5	7	52.05	0.460 845 47	
	10	111	19	19.69	6	14	51.07	0.316 749 87		25	278	7	0.91	- 5	21	39.29	0.458 912 64	
	11	117	16	10.17	6	32	28.19	0.320 243 69		26	280	59	4.63	- 5	34	46.20	0.456 709 85	
	12	123	5	9.97	6	45	38.11	0.324 192 17		27	283	53	2.11	- 5	47	10.40	0.454 240 03	
	13	128	45	35.56	6	54	28.94	0.328 544 71		28	286	49	7.38	- 5	58	49.25	0.451 506 59	
	14	134	16	54.92	6	59	13.68	0.333 249 26		29	289	47	34.89	- 6	9	39.83	0.448 513 51	
	15	139	38	47.01	7	0	8.90	0.338 253 60		30	292	48	39.60	- 6	19	38.93	0.445 265 38	
	16	144	51	0.79	6	57	33.54	0.343 506 43		Déc.	1	295	52	37.01	- 6	28	43.02	0.441 767 47
	17	149	53	34.05	6	51	47.78	0.348 958 23			2	298	59	43.23	- 6	36	48.20	0.438 025 82
	18	154	46	32.03	6	43	12.20	0.354 561 90			3	302	10	14.97	- 6	43	50.21	0.434 047 29
	19	159	30	6.10	6	32	7.02	0.360 273 20			4	305	24	29.63	- 6	49	44.37	0.429 839 74
20	164	4	32.47	6	18	51.57	0.366 050 95	5	308		42	45.29	- 6	54	25.57	0.425 412 04		
21	168	30	11.05	6	3	44.01	0.371 857 23	6	312		5	20.73	- 6	57	48.25	0.420 774 28		
22	172	47	24.38	5	47	1.03	0.377 657 29	7	315		32	35.46	- 6	59	46.38	0.415 937 86		
23	176	56	36.78	5	28	57.82	0.383 419 57	8	319		4	49.69	- 7	0	13.44	0.410 915 68		
24	180	58	13.63	5	9	48.03	0.389 115 49	9	322		42	24.28	- 6	59	2.45	0.405 722 27		
25	184	52	40.83	4	49	43.80	0.394 719 30	10	326		25	40.72	- 6	56	5.95	0.400 373 99		
26	188	40	24.27	4	28	55.86	0.400 207 89	11	330		15	1.00	- 6	51	16.06	0.394 889 22		
27	192	21	49.59	4	7	33.61	0.405 560 60	12	334		10	47.46	- 6	44	24.54	0.389 288 56		
28	195	57	21.84	3	45	45.27	0.410 758 98	13	338		13	22.65	- 6	35	22.91	0.383 595 04		
29	199	27	25.36	3	23	37.98	0.415 786 61	14	342		23	9.01	- 6	24	2.54	0.377 834 31		
30	202	52	23.64	3	1	17.93	0.420 628 90	15	346		40	28.61	- 6	10	14.91	0.372 034 86		
31	206	12	39.27	2	38	50.46	0.425 272 91	16	351		5	42.65	- 5	53	51.82	0.366 228 18		
Nov.	1	209	28	33.90	2	16	20.18	0.429 707 20	17		355	39	11.03	- 5	34	45.78	0.360 448 89	
	2	212	40	28.22	1	53	51.06	0.433 921 64	18	0	21	11.67	- 5	12	50.38	0.354 734 84		
	3	215	48	42.00	1	31	26.52	0.437 907 30	19	5	11	59.77	- 4	48	0.83	0.349 127 08		
	4	218	53	34.14	1	9	9.50	0.441 656 32	20	10	11	46.99	- 4	20	14.57	0.343 669 79		
	5	221	55	22.65	0	47	2.55	0.445 161 79	21	15	20	40.45	- 3	49	31.90	0.338 409 98		
	6	224	54	24.78	0	25	7.89	0.448 417 66	22	20	38	41.67	- 3	15	56.75	0.333 397 11		
	7	227	50	57.02	0	3	27.42	0.451 418 63	23	26	5	45.46	- 2	39	37.39	0.328 682 42		
	8	230	45	15.19	- 0	17	57.15	0.454 160 10	24	31	41	38.77	- 2	0	47.07	0.324 318 14		
	9	233	37	34.47	- 0	39	4.33	0.456 638 06	25	37	25	59.67	- 1	19	44.58	0.320 356 35		
	10	236	28	9.50	- 0	59	52.77	0.458 849 08	26	43	18	16.40	- 0	36	54.54	0.316 847 71		
	11	239	17	14.42	- 1	20	21.24	0.460 790 23	27	49	17	46.79	0	7	12.70	0.313 839 94		
	12	242	5	2.92	- 1	40	28.61	0.462 459 02	28	55	23	37.96	0	52	1.49	0.311 376 26		
	13	244	51	48.31	- 2	0	13.79	0.463 853 41	29	61	34	46.64	1	36	51.87	0.309 493 72		
	14	247	37	43.59	- 2	19	35.74	0.464 971 72	30	67	49	60.00	2	21	0.99	0.308 221 67		
	15	250	23	1.49	- 2	38	33.44	0.465 812 64	31	74	7	57.09	3	3	44.92	0.307 580 50		
	16	253	7	54.51	- 2	57	5.85	0.466 375 21	32	80	27	10.95	3	44	20.71	0.307 580 64		
	17	255	52	35.02	- 3	15	11.90	0.466 658 79	33	86	46	11.17	4	22	8.53	0.308 222 08		

VÉNUS 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.			
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua			
Janv.	0	46	39	25.43	- 1	41	55.42	0.722 877 64	Avril	2	195	31	6.39	2	58	24.73	0.721 154 79	
	2	49	51	48.21	- 1	31	53.70	0.722 605 83		4	198	44	37.19	2	52	36.38	0.721 404 83	
	4	53	4	17.83	- 1	21	34.27	0.722 336 16		6	201	57	57.79	2	46	15.57	0.721 660 89	
	6	56	16	54.36	- 1	10	59.02	0.722 069 49		8	205	11	7.90	2	39	23.57	0.721 922 18	
	8	59	29	37.89	- 1	0	9.94	0.721 806 65		10	208	24	7.33	2	32	1.77	0.722 187 84	
	10	62	42	28.49	- 0	49	9.03	0.721 548 48		12	211	36	55.92	2	24	11.62	0.722 457 05	
	12	65	55	26.23	- 0	37	58.37	0.721 295 80		14	214	49	33.56	2	15	54.69	0.722 728 93	
	14	69	8	31.14	- 0	26	40.06	0.721 049 41		16	218	2	0.22	2	7	12.59	0.723 002 64	
	16	72	21	43.27	- 0	15	16.25	0.720 810 10		18	221	14	15.90	1	58	7.03	0.723 277 30	
	18	75	35	2.64	- 0	3	49.10	0.720 578 63		20	224	26	20.69	1	48	39.76	0.723 552 06	
	20	78	48	29.25	0	7	39.22	0.720 355 76		22	227	38	14.69	1	38	52.62	0.723 826 04	
	22	82	2	3.07	0	19	6.49	0.720 142 19		24	230	49	58.08	1	28	47.47	0.724 098 40	
	24	85	15	44.05	0	30	30.53	0.719 938 61		26	234	1	31.09	1	18	26.24	0.724 368 27	
	26	88	29	32.12	0	41	49.13	0.719 745 67		28	237	12	53.99	1	7	50.88	0.724 634 81	
	28	91	43	27.18	0	53	0.10	0.719 564 01		30	240	24	7.10	0	57	3.39	0.724 897 21	
	30	94	57	29.08	1	4	1.28	0.719 394 22		Mai	2	243	35	10.78	0	46	5.79	0.725 154 64
	1	98	11	37.66	1	14	50.52	0.719 236 83			4	246	46	5.42	0	35	0.12	0.725 406 32
	3	101	25	52.72	1	25	25.70	0.719 092 36			6	249	56	51.45	0	23	48.43	0.725 651 45
5	104	40	14.01	1	35	44.77	0.718 961 29	8	253		7	29.36	0	12	32.80	0.725 889 30		
7	107	54	41.26	1	45	45.68	0.718 844 04	10	256		17	59.61	0	1	15.30	0.726 119 13		
9	111	9	14.15	1	55	26.48	0.718 740 99	12	259		28	22.75	- 0	10	2.02	0.726 340 23		
11	114	23	52.31	2	4	45.27	0.718 652 48	14	262		38	39.29	- 0	21	17.09	0.726 551 94		
13	117	38	35.37	2	13	40.20	0.718 578 80	16	265		48	49.80	- 0	32	27.87	0.726 753 60		
15	120	53	22.88	2	22	9.51	0.718 520 20	18	268		58	54.84	- 0	43	32.33	0.726 944 61		
17	124	8	14.38	2	30	11.54	0.718 476 86	20	272		8	54.98	- 0	54	28.47	0.727 124 39		
19	127	23	9.36	2	37	44.70	0.718 448 94	22	275	18	50.82	- 1	5	14.33	0.727 292 39			
21	130	38	7.28	2	44	47.50	0.718 436 51	24	278	28	42.92	- 1	15	47.96	0.727 448 10			
23	133	53	7.57	2	51	18.56	0.718 439 64	26	281	38	31.87	- 1	26	7.48	0.727 591 05			
25	137	8	9.63	2	57	16.58	0.718 458 30	28	284	48	18.24	- 1	36	11.02	0.727 720 82			
27	140	23	12.82	3	2	40.41	0.718 492 45	30	287	58	2.61	- 1	45	56.80	0.727 837 02			
Mars	1	143	38	16.51	3	7	29.00	0.718 541 98	Juin	1	291	7	45.51	- 1	55	23.06	0.727 939 29	
	3	146	53	20.01	3	11	41.40	0.718 606 72		3	294	17	27.50	- 2	4	28.11	0.728 027 32	
	5	150	8	22.65	3	15	16.82	0.718 686 47		5	297	27	9.09	- 2	13	10.33	0.728 100 86	
	7	153	23	23.71	3	18	14.57	0.718 780 97		7	300	36	50.79	- 2	21	28.15	0.728 159 69	
	9	156	38	22.51	3	20	34.10	0.718 889 93		9	303	46	33.09	- 2	29	20.10	0.728 203 62	
	11	159	53	18.33	3	22	14.98	0.719 012 99		11	306	56	16.45	- 2	36	44.76	0.728 232 53	
	13	163	8	10.47	3	23	16.92	0.719 149 75		13	310	6	1.31	- 2	43	40.79	0.728 246 34	
	15	166	22	58.24	3	23	39.78	0.719 299 78		15	313	15	48.08	- 2	50	6.94	0.728 244 99	
	17	169	37	40.95	3	23	23.51	0.719 462 59		17	316	25	37.16	- 2	56	2.04	0.728 228 50	
	19	172	52	17.93	3	22	28.23	0.719 637 66	19	319	35	28.90	- 3	1	25.03	0.728 196 91		
	21	176	6	48.54	3	20	54.17	0.719 824 44	21	322	45	23.66	- 3	6	14.90	0.728 150 32		
	23	179	21	12.17	3	18	41.70	0.720 022 31	23	325	55	21.74	- 3	10	30.78	0.728 088 87		
	25	182	35	28.23	3	15	51.31	0.720 230 64	25	329	5	23.43	- 3	14	11.86	0.728 012 74		
	27	185	49	36.17	3	12	23.62	0.720 448 77	27	332	15	29.01	- 3	17	17.46	0.727 922 16		
	29	189	3	35.48	3	8	19.37	0.720 676 00	29	335	25	38.71	- 3	19	46.99	0.727 817 41		
	31	192	17	25.69	3	3	39.42	0.720 911 59	Juill.	1	338	35	52.76	- 3	21	39.95	0.727 698 78	

VÉNUS 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et écliptique moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v. ua	Date	longitude			latitude			rayon v. ua			
	°	'	"	°	'	"			°	'	"	°	'	"				
Juill.	3	341	46	11.35	-	3	22	55.98	0.727 566 65	Oct.	3	129	29	46.60	2	42	23.62	0.718 406 87
	5	344	56	34.66	-	3	23	34.79	0.727 421 41		5	132	44	47.12	2	49	5.94	0.718 405 40
	7	348	7	2.87	-	3	23	36.23	0.727 263 49		7	135	59	49.59	2	55	15.67	0.718 419 56
	9	351	17	36.12	-	3	23	0.24	0.727 093 37		9	139	14	53.40	3	0	51.59	0.718 449 30
	11	354	28	14.55	-	3	21	46.88	0.726 911 57		11	142	29	57.88	3	5	52.61	0.718 494 53
	13	357	38	58.27	-	3	19	56.31	0.726 718 62		13	145	45	2.38	3	10	17.75	0.718 555 08
	15	0	49	47.40	-	3	17	28.83	0.726 515 12		15	149	0	6.21	3	14	6.17	0.718 630 78
	17	4	0	42.05	-	3	14	24.81	0.726 301 68		17	152	15	8.68	3	17	17.14	0.718 721 38
	19	7	11	42.30	-	3	10	44.77	0.726 078 96		19	155	30	9.08	3	19	50.06	0.718 826 57
	21	10	22	48.25	-	3	6	29.32	0.725 847 62		21	158	45	6.70	3	21	44.47	0.718 946 02
	23	13	33	59.99	-	3	1	39.16	0.725 608 37		23	162	0	0.85	3	23	0.02	0.719 079 35
	25	16	45	17.60	-	2	56	15.15	0.725 361 95		25	165	14	50.81	3	23	36.51	0.719 226 11
	27	19	56	41.17	-	2	50	18.20	0.725 109 10		27	168	29	35.90	3	23	33.87	0.719 385 84
29	23	8	10.79	-	2	43	49.37	0.724 850 61	29	171	44	15.46	3	22	52.17	0.719 558 01		
31	26	19	46.53	-	2	36	49.78	0.724 587 28	31	174	58	48.82	3	21	31.59	0.719 742 07		
Août	2	29	31	28.48	-	2	29	20.67	0.724 319 90	Nov.	2	178	13	15.36	3	19	32.46	0.719 937 43
	4	32	43	16.73	-	2	21	23.39	0.724 049 32		4	181	27	34.49	3	16	55.22	0.720 143 46
	6	35	55	11.38	-	2	12	59.35	0.723 776 36		6	184	41	45.65	3	13	40.45	0.720 359 49
	8	39	7	12.50	-	2	4	10.08	0.723 501 88		8	187	55	48.31	3	9	48.85	0.720 584 83
	10	42	19	20.20	-	1	54	57.16	0.723 226 74		10	191	9	41.99	3	5	21.23	0.720 818 76
	12	45	31	34.56	-	1	45	22.28	0.722 951 78		12	194	23	26.26	3	0	18.53	0.721 060 53
	14	48	43	55.68	-	1	35	27.19	0.722 677 89		14	197	37	0.73	2	54	41.79	0.721 309 37
	16	51	56	23.64	-	1	25	13.71	0.722 405 90		16	200	50	25.07	2	48	32.16	0.721 564 47
	18	55	8	58.54	-	1	14	43.75	0.722 136 68		18	204	3	38.98	2	41	50.88	0.721 825 04
	20	58	21	40.44	-	1	3	59.24	0.721 871 09		20	207	16	42.25	2	34	39.31	0.722 090 24
	22	61	34	29.43	-	0	53	2.19	0.721 609 95		22	210	29	34.69	2	26	58.87	0.722 359 24
	24	64	47	25.57	-	0	41	54.66	0.721 354 10		24	213	42	16.19	2	18	51.10	0.722 631 18
	26	68	0	28.91	-	0	30	38.73	0.721 104 36		26	216	54	46.69	2	10	17.59	0.722 905 20
28	71	13	39.49	-	0	19	16.54	0.720 861 51	28	220	7	6.19	2	1	20.02	0.723 180 45		
30	74	26	57.34	-	0	7	50.24	0.720 626 33	30	223	19	14.73	1	52	0.13	0.723 456 05		
Sept.	1	77	40	22.44	0	3	37.98	0.720 399 58	Déc.	2	226	31	12.42	1	42	19.72	0.723 731 15	
	3	80	53	54.80	0	15	5.94	0.720 181 99		4	229	42	59.41	1	32	20.65	0.724 004 89	
	5	84	7	34.36	0	26	31.43	0.719 974 24		6	232	54	35.92	1	22	4.82	0.724 276 41	
	7	87	21	21.05	0	37	52.26	0.719 777 02		8	236	6	2.21	1	11	34.17	0.724 544 87	
	9	90	35	14.78	0	49	6.22	0.719 590 96		10	239	17	18.56	1	0	50.70	0.724 809 44	
	11	93	49	15.43	1	0	11.15	0.719 416 65		12	242	28	25.34	0	49	56.41	0.725 069 30	
	13	97	3	22.82	1	11	4.88	0.719 254 67		14	245	39	22.92	0	38	53.34	0.725 323 64	
	15	100	17	36.77	1	21	45.29	0.719 105 55		16	248	50	11.73	0	27	43.53	0.725 571 68	
	17	103	31	57.04	1	32	10.29	0.718 969 75		18	252	0	52.23	0	16	29.06	0.725 812 67	
	19	106	46	23.37	1	42	17.84	0.718 847 73		20	255	11	24.89	0	5	11.99	0.726 045 86	
	21	110	0	55.45	1	52	5.96	0.718 739 89		22	258	21	50.23	-	0	6	5.61	0.726 270 53
	23	113	15	32.93	2	1	32.71	0.718 646 57		24	261	32	8.77	-	0	17	21.68	0.726 486 02
	25	116	30	15.42	2	10	36.24	0.718 568 09		26	264	42	21.08	-	0	28	34.16	0.726 691 65
27	119	45	2.52	2	19	14.75	0.718 504 69	28	267	52	27.71	-	0	39	41.04	0.726 886 80		
29	122	59	53.75	2	27	26.55	0.718 456 59	30	271	2	29.24	-	0	50	40.30	0.727 070 88		
Oct.	1	126	14	48.62	2	35	10.01	0.718 423 95	32	274	12	26.24	-	1	1	29.95	0.727 243 34	

MARS 2009 à 0h TT

LONGITUDE, LATITUDE, RAYON VECTEUR

Équinoxe et éclipse moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	longitude			latitude			rayon v.	Date	longitude			latitude			rayon v.		
	°	'	"	°	'	"	ua		°	'	"	°	'	"	ua		
Janv.	0	267	59	59.38	- 1	9	1.57	1.459 474 81	Juill.	3	21	21	10.74	- 0	52	23.51	1.417 231 68
	4	270	16	54.42	- 1	12	25.78	1.454 660 05		7	23	45	29.13	- 0	48	14.48	1.421 024 42
	8	272	34	43.89	- 1	15	44.37	1.449 931 04		11	26	9	0.23	- 0	44	1.74	1.424 964 44
	12	274	53	27.31	- 1	18	56.88	1.445 296 01		15	28	31	42.72	- 0	39	45.86	1.429 044 08
	16	277	13	4.07	- 1	22	2.82	1.440 763 12		19	30	53	35.42	- 0	35	27.38	1.433 255 53
	20	279	33	33.43	- 1	25	1.74	1.436 340 56	23	33	14	37.28	- 0	31	6.85	1.437 590 84	
	24	281	54	54.54	- 1	27	53.14	1.432 036 40	27	35	34	47.37	- 0	26	44.79	1.442 041 99	
	28	284	17	6.41	- 1	30	36.58	1.427 858 69	31	37	54	4.91	- 0	22	21.72	1.446 600 88	
Févr.	1	286	40	7.91	- 1	33	11.58	1.423 815 33	Août	4	40	12	29.22	- 0	17	58.14	1.451 259 36
	5	289	3	57.79	- 1	35	37.69	1.419 914 12		8	42	29	59.75	- 0	13	34.53	1.456 009 26
	9	291	28	34.65	- 1	37	54.47	1.416 162 70		12	44	46	36.07	- 0	9	11.36	1.460 842 40
	13	293	53	56.97	- 1	40	1.50	1.412 568 52		16	47	2	17.86	- 0	4	49.08	1.465 750 62
	17	296	20	3.09	- 1	41	58.35	1.409 138 82		20	49	17	4.90	- 0	0	28.11	1.470 725 79
	21	298	46	51.21	- 1	43	44.63	1.405 880 64	24	51	30	57.08	- 0	3	51.13	1.475 759 83	
	25	301	14	19.40	- 1	45	19.97	1.402 800 70	28	53	43	54.39	0	8	8.25	1.480 844 72	
Mars	1	303	42	25.61	- 1	46	44.03	1.399 905 49	Sept.	1	55	55	56.92	0	12	22.88	1.485 972 55
	5	306	11	7.66	- 1	47	56.47	1.397 201 14		5	58	7	4.85	0	16	34.68	1.491 135 47
	9	308	40	23.23	- 1	48	57.00	1.394 693 45		9	60	17	18.42	0	20	43.30	1.496 325 75
	13	311	10	9.93	- 1	49	45.37	1.392 387 88		13	62	26	37.98	0	24	48.43	1.501 535 78
	17	313	40	25.22	- 1	50	21.33	1.390 289 45		17	64	35	3.95	0	28	49.78	1.506 758 07
	21	316	11	6.47	- 1	50	44.71	1.388 402 81	21	66	42	36.81	0	32	47.08	1.511 985 28	
	25	318	42	10.97	- 1	50	55.34	1.386 732 14	25	68	49	17.12	0	36	40.06	1.517 210 20	
	29	321	13	35.91	- 1	50	53.11	1.385 281 19	29	70	55	5.48	0	40	28.49	1.522 425 78	
Avril	2	323	45	18.40	- 1	50	37.94	1.384 053 22	Oct.	3	73	0	2.58	0	44	12.14	1.527 625 11
	6	326	17	15.51	- 1	50	9.80	1.383 051 01		7	75	4	9.13	0	47	50.81	1.532 801 47
	10	328	49	24.24	- 1	49	28.70	1.382 276 83		11	77	7	25.92	0	51	24.31	1.537 948 28
	14	331	21	41.53	- 1	48	34.68	1.381 732 44		15	79	9	53.75	0	54	52.47	1.543 059 16
	18	333	54	4.32	- 1	47	27.84	1.381 419 08		19	81	11	33.51	0	58	15.12	1.548 127 89
	22	336	26	29.52	- 1	46	8.32	1.381 337 45	23	83	12	26.09	1	1	32.12	1.553 148 40	
	26	338	58	54.01	- 1	44	36.29	1.381 487 72	27	85	12	32.42	1	4	43.34	1.558 114 85	
Mai	30	341	31	14.71	- 1	42	51.98	1.381 869 54	Nov.	31	87	11	53.48	1	7	48.66	1.563 021 53
	4	344	3	28.53	- 1	40	55.65	1.382 482 01		4	89	10	30.27	1	10	47.97	1.567 862 93
	8	346	35	32.42	- 1	38	47.59	1.383 323 70		8	91	8	23.80	1	13	41.18	1.572 633 72
	12	349	7	23.37	- 1	36	28.14	1.384 392 67		12	93	5	35.14	1	16	28.19	1.577 328 72
	16	351	38	58.40	- 1	33	57.68	1.385 686 48		16	95	2	5.35	1	19	8.94	1.581 942 97
	20	354	10	14.63	- 1	31	16.60	1.387 202 18	20	96	57	55.53	1	21	43.36	1.586 471 65	
	24	356	41	9.22	- 1	28	25.33	1.388 936 34	24	98	53	6.77	1	24	11.39	1.590 910 13	
	28	359	11	39.43	- 1	25	24.34	1.390 885 05	28	100	47	40.20	1	26	32.98	1.595 253 95	
Juin	1	1	41	42.59	- 1	22	14.12	1.393 043 98	Déc.	2	102	41	36.96	1	28	48.10	1.599 498 83
	5	4	11	16.14	- 1	18	55.16	1.395 408 35		6	104	34	58.19	1	30	56.71	1.603 640 65
	9	6	40	17.64	- 1	15	27.99	1.397 972 98		10	106	27	45.06	1	32	58.77	1.607 675 44
	13	9	8	44.74	- 1	11	53.15	1.400 732 33		14	108	19	58.72	1	34	54.28	1.611 599 44
	17	11	36	35.21	- 1	8	11.19	1.403 680 48		18	110	11	40.34	1	36	43.21	1.615 409 00
	21	14	3	46.96	- 1	4	22.68	1.406 811 17	22	112	2	51.12	1	38	25.56	1.619 100 66	
	25	16	30	18.01	- 1	0	28.18	1.410 117 86	26	113	53	32.23	1	40	1.32	1.622 671 12	
	29	18	56	6.51	- 0	56	28.27	1.413 593 73	30	115	43	44.86	1	41	30.49	1.626 117 21	

MERCURE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Janv.	0	20	2	30.480	-22	11	35.57	1.100 736 44	Févr.	15	20	10	3.389	-19	52	28.54	0.998 627 92	
	1	20	7	56.984	-21	48	5.11	1.077 351 02		16	20	14	40.521	-19	47	58.37	1.014 261 72	
	2	20	13	7.180	-21	23	45.94	1.053 212 31		17	20	19	26.533	-19	42	13.64	1.029 594 89	
	3	20	17	58.753	-20	58	48.60	1.028 378 89		18	20	24	20.647	-19	35	13.78	1.044 619 81	
	4	20	22	29.144	-20	33	25.41	1.002 928 46		19	20	29	22.161	-19	26	58.30	1.059 330 87	
	5	20	26	35.553	-20	7	50.51	0.976 960 82		20	20	34	30.439	-19	17	26.82	1.073 724 05	
	6	20	30	14.950	-19	42	19.99	0.950 600 70		21	20	39	44.907	-19	6	39.03	1.087 796 66	
	7	20	33	24.118	-19	17	11.75	0.924 000 21		22	20	45	5.047	-18	54	34.71	1.101 546 99	
	8	20	35	59.713	-18	52	45.46	0.897 340 69		23	20	50	30.392	-18	41	13.68	1.114 974 17	
	9	20	37	58.365	-18	29	22.16	0.870 833 59		24	20	56	0.522	-18	26	35.83	1.128 077 88	
	10	20	39	16.811	-18	7	23.80	0.844 719 86		25	21	1	35.061	-18	10	41.10	1.140 858 23	
	11	20	39	52.087	-17	47	12.50	0.819 267 58		26	21	7	13.671	-17	53	29.47	1.153 315 56	
	12	20	39	41.756	-17	29	9.67	0.794 767 42		27	21	12	56.052	-17	35	0.96	1.165 450 31	
	13	20	38	44.178	-17	13	34.86	0.771 525 59		28	21	18	41.937	-17	15	15.62	1.177 262 89	
	14	20	36	58.809	-17	0	44.54	0.749 854 46		Mars	1	21	24	31.094	-16	54	13.54	1.188 753 56
	15	20	34	26.482	-16	50	50.90	0.730 060 72		2	21	30	23.315	-16	31	54.83	1.199 922 29	
	16	20	31	9.659	-16	44	0.77	0.712 432 00		3	21	36	18.422	-16	8	19.62	1.210 768 62	
	17	20	27	12.572	-16	40	14.86	0.697 222 52		4	21	42	16.261	-15	43	28.08	1.221 291 59	
	18	20	22	41.228	-16	39	27.57	0.684 639 40		5	21	48	16.702	-15	17	20.40	1.231 489 58	
19	20	17	43.237	-16	41	27.32	0.674 830 87	6	21	54	19.637	-14	49	56.76	1.241 360 19			
20	20	12	27.443	-16	45	57.54	0.667 878 10	7	22	0	24.979	-14	21	17.37	1.250 900 11			
21	20	7	3.413	-16	52	38.07	0.663 791 73	8	22	6	32.662	-13	51	22.46	1.260 105 00			
22	20	1	40.824	-17	1	6.84	0.662 513 60	9	22	12	42.640	-13	20	12.25	1.268 969 34			
23	19	56	28.861	-17	11	1.42	0.663 923 57	10	22	18	54.887	-12	47	47.01	1.277 486 31			
24	19	51	35.693	-17	22	0.36	0.667 850 14	11	22	25	9.397	-12	14	7.00	1.285 647 62			
25	19	47	8.109	-17	33	44.04	0.674 083 54	12	22	31	26.177	-11	39	12.53	1.293 443 41			
26	19	43	11.329	-17	45	55.14	0.682 389 52	13	22	37	45.254	-11	3	3.95	1.300 862 11			
27	19	39	48.982	-17	58	18.76	0.692 522 25	14	22	44	6.665	-10	25	41.66	1.307 890 29			
28	19	37	3.223	-18	10	42.24	0.704 235 44	15	22	50	30.464	-9	47	6.12	1.314 512 52			
29	19	34	54.931	-18	22	54.89	0.717 291 03	16	22	56	56.715	-9	7	17.85	1.320 711 23			
30	19	33	23.953	-18	34	47.67	0.731 465 35	17	23	3	25.493	-8	26	17.47	1.326 466 49			
31	19	32	29.347	-18	46	12.93	0.746 553 04	18	23	9	56.884	-7	44	5.67	1.331 755 89			
Févr.	1	19	32	9.611	-18	57	4.09	0.762 369 03	19	23	16	30.985	-7	0	43.26	1.336 554 30		
	2	19	32	22.874	-19	7	15.47	0.778 749 05	20	23	23	7.898	-6	16	11.21	1.340 833 71		
	3	19	33	7.051	-19	16	42.12	0.795 549 14	21	23	29	47.734	-5	30	30.60	1.344 563 03		
	4	19	34	19.966	-19	25	19.73	0.812 644 48	22	23	36	30.608	-4	43	42.73	1.347 707 94		
	5	19	35	59.432	-19	33	4.47	0.829 927 76	23	23	43	16.635	-3	55	49.14	1.350 230 70		
	6	19	38	3.320	-19	39	53.00	0.847 307 47	24	23	50	5.929	-3	6	51.61	1.352 090 13		
	7	19	40	29.592	-19	45	42.34	0.864 706 08	25	23	56	58.597	-2	16	52.25	1.353 241 47		
	8	19	43	16.333	-19	50	29.87	0.882 058 27	26	0	3	54.738	-1	25	53.55	1.353 636 51		
	9	19	46	21.756	-19	54	13.25	0.899 309 31	27	0	10	54.432	-0	33	58.42	1.353 223 68		
	10	19	49	44.211	-19	56	50.45	0.916 413 65	28	0	17	57.737	0	18	49.71	1.351 948 33		
	11	19	53	22.186	-19	58	19.67	0.933 333 51	29	0	25	4.680	1	12	26.83	1.349 753 24		
	12	19	57	14.297	-19	58	39.34	0.950 037 86	30	0	32	15.247	2	6	48.30	1.346 579 23		
	13	20	1	19.282	-19	57	48.11	0.966 501 34	31	0	39	29.373	3	1	48.71	1.342 366 08		
	14	20	5	35.994	-19	55	44.84	0.982 703 49	Avril	1	0	46	46.934	3	57	21.87	1.337 053 71	

MERCURE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	0	54	7.730	4	53	20.67	1.33058369	Mai	18	3	43	5.649	18	53	24.36	0.55296576
	3	1	1	31.481	5	49	37.11	1.32290101		19	3	40	58.364	18	28	30.36	0.55139620
	4	1	8	57.810	6	46	2.21	1.31395622		20	3	38	52.071	18	3	48.94	0.55100011
	5	1	16	26.239	7	42	26.05	1.30370776		21	3	36	49.055	17	39	37.68	0.55175933
	6	1	23	56.177	8	38	37.78	1.29212448		22	3	34	51.477	17	16	13.67	0.55365107
	7	1	31	26.917	9	34	25.73	1.27918813		23	3	33	1.342	16	53	53.05	0.55664835
	8	1	38	57.635	10	29	37.57	1.26489575		24	3	31	20.464	16	32	50.70	0.56072066
	9	1	46	27.392	11	24	0.43	1.24926160		25	3	29	50.455	16	13	19.92	0.56583457
	10	1	53	55.144	12	17	21.23	1.23231858		26	3	28	32.712	15	55	32.27	0.57195451
	11	2	1	19.755	13	9	26.87	1.21411883		27	3	27	28.417	15	39	37.39	0.57904335
	12	2	8	40.017	14	0	4.58	1.19473340		28	3	26	38.544	15	25	43.05	0.58706312
13	2	15	54.669	14	49	2.19	1.17425107	29	3	26	3.873	15	13	55.07	0.59597551		
14	2	23	2.424	15	36	8.38	1.15277620	30	3	25	45.003	15	4	17.48	0.60574240		
15	2	30	1.994	16	21	12.95	1.13042587	31	3	25	42.375	14	56	52.64	0.61632623		
16	2	36	52.107	17	4	6.96	1.10732660	Juin	1	3	25	56.287	14	51	41.33	0.62769035	
17	2	43	31.530	17	44	42.84	1.08361079	2	3	26	26.915	14	48	43.00	0.63979929		
18	2	49	59.083	18	22	54.40	1.05941322	3	3	27	14.334	14	47	55.88	0.65261891		
19	2	56	13.648	18	58	36.84	1.03486796	4	3	28	18.537	14	49	17.17	0.66611653		
20	3	2	14.174	19	31	46.63	1.01010556	5	3	29	39.449	14	52	43.22	0.68026097		
21	3	7	59.680	20	2	21.39	0.98525101	6	3	31	16.951	14	58	9.63	0.69502249		
22	3	13	29.255	20	30	19.76	0.96042212	7	3	33	10.888	15	5	31.45	0.71037279		
23	3	18	42.054	20	55	41.22	0.93572864	8	3	35	21.086	15	14	43.23	0.72628477		
24	3	23	37.292	21	18	25.95	0.91127178	9	3	37	47.361	15	25	39.17	0.74273243		
25	3	28	14.242	21	38	34.63	0.88714422	10	3	40	29.531	15	38	13.16	0.75969062		
26	3	32	32.233	21	56	8.37	0.86343038	11	3	43	27.424	15	52	18.85	0.77713476		
27	3	36	30.644	22	11	8.52	0.84020705	12	3	46	40.881	16	7	49.73	0.79504058		
28	3	40	8.908	22	23	36.61	0.81754402	13	3	50	9.766	16	24	39.10	0.81338373		
29	3	43	26.515	22	33	34.27	0.79550487	14	3	53	53.964	16	42	40.16	0.83213945		
30	3	46	23.020	22	41	3.19	0.77414777	15	3	57	53.391	17	1	45.95	0.85128214		
Mai	1	3	48	58.049	22	46	5.08	0.75352618	16	4	2	7.986	17	21	49.37	0.87078490	
2	3	51	11.316	22	48	41.69	0.73368959	17	4	6	37.720	17	42	43.20	0.89061906		
3	3	53	2.637	22	48	54.90	0.71468407	18	4	11	22.588	18	4	20.01	0.91075366		
4	3	54	31.941	22	46	46.71	0.69655277	19	4	16	22.609	18	26	32.20	0.93115490		
5	3	55	39.295	22	42	19.37	0.67933633	20	4	21	37.824	18	49	11.92	0.95178553		
6	3	56	24.916	22	35	35.54	0.66307315	21	4	27	8.287	19	12	11.04	0.97260430		
7	3	56	49.195	22	26	38.36	0.64779951	22	4	32	54.058	19	35	21.12	0.99356531		
8	3	56	52.710	22	15	31.69	0.63354963	23	4	38	55.201	19	58	33.38	1.01461738		
9	3	56	36.247	22	2	20.22	0.62035555	24	4	45	11.766	20	21	38.60	1.03570350		
10	3	56	0.808	21	47	9.72	0.60824699	25	4	51	43.787	20	44	27.16	1.05676023		
11	3	55	7.622	21	30	7.16	0.59725100	26	4	58	31.261	21	6	48.98	1.07771719		
12	3	53	58.143	21	11	20.91	0.58739164	27	5	5	34.140	21	28	33.53	1.09849675		
13	3	52	34.045	20	51	0.83	0.57868954	28	5	12	52.305	21	49	29.85	1.11901390		
14	3	50	57.208	20	29	18.34	0.57116144	29	5	20	25.550	22	9	26.57	1.13917636		
15	3	49	9.691	20	6	26.41	0.56481981	30	5	28	13.560	22	28	12.01	1.15888511		
16	3	47	13.702	19	42	39.46	0.55967237	Juill.	1	5	36	15.886	22	45	34.27	1.17803538	
17	3	45	11.561	19	18	13.20	0.55572186	2	5	44	31.931	23	1	21.38	1.19651808		

MERCURE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Juill.	3	5	53	0.932	23	15	21.50	1.214 221 76	Août	18	11	27	37.672	2	20	35.17	1.018 641 92	
	4	6	1	41.949	23	27	23.17	1.231 035 10		19	11	31	46.133	1	43	16.60	1.004 529 19	
	5	6	10	33.862	23	37	15.54	1.246 849 77		20	11	35	46.506	1	6	40.40	0.990 296 22	
	6	6	19	35.380	23	44	48.71	1.261 563 65		21	11	39	38.564	0	30	50.45	0.975 949 32	
	7	6	28	45.048	23	49	53.95	1.275 084 07		22	11	43	22.037	-	0	4	9.13	0.961 495 72
	8	6	38	1.281	23	52	24.02	1.287 330 97		23	11	46	56.607	-	0	38	13.99	0.946 943 76
	9	6	47	22.391	23	52	13.40	1.298 239 58		24	11	50	21.911	-	1	11	19.46	0.932 303 14
	10	6	56	46.632	23	49	18.39	1.307 762 50		25	11	53	37.529	-	1	43	20.58	0.917 585 25
	11	7	6	12.241	23	43	37.25	1.315 870 93		26	11	56	42.991	-	2	14	11.98	0.902 803 34
	12	7	15	37.487	23	35	10.18	1.322 555 00		27	11	59	37.768	-	2	43	47.88	0.887 972 96
	13	7	25	0.713	23	23	59.22	1.327 823 12		28	12	2	21.273	-	3	12	2.02	0.873 112 21
	14	7	34	20.369	23	10	8.11	1.331 700 53		29	12	4	52.857	-	3	38	47.63	0.858 242 26
	15	7	43	35.049	22	53	42.08	1.334 227 26		30	12	7	11.814	-	4	3	57.36	0.843 387 73
	16	7	52	43.502	22	34	47.59	1.335 455 56		31	12	9	17.375	-	4	27	23.23	0.828 577 21
	17	8	1	44.650	22	13	32.06	1.335 447 21		Sept. 1	12	11	8.715	-	4	48	56.63	0.813 843 90
	18	8	10	37.588	21	50	3.66	1.334 270 80		2	12	12	44.958	-	5	8	28.20	0.799 226 13
	19	8	19	21.578	21	24	30.99	1.331 999 17		3	12	14	5.180	-	5	25	47.91	0.784 768 14
20	8	27	56.042	20	57	2.93	1.328 707 18	4	12	15	8.429	-	5	40	44.98	0.770 520 72		
21	8	36	20.544	20	27	48.43	1.324 469 78	5	12	15	53.735	-	5	53	7.97	0.756 542 00		
22	8	44	34.781	19	56	56.33	1.319 360 52	6	12	16	20.138	-	6	2	44.83	0.742 898 23		
23	8	52	38.564	19	24	35.27	1.313 450 33	7	12	16	26.716	-	6	9	23.07	0.729 664 54		
24	9	0	31.801	18	50	53.63	1.306 806 69	8	12	16	12.627	-	6	12	49.97	0.716 925 66		
25	9	8	14.484	18	15	59.38	1.299 493 02	9	12	15	37.157	-	6	12	52.92	0.704 776 52		
26	9	15	46.673	17	40	0.16	1.291 568 35	10	12	14	39.778	-	6	9	19.86	0.693 322 68		
27	9	23	8.480	17	3	3.17	1.283 087 11	11	12	13	20.224	-	6	1	59.90	0.682 680 52		
28	9	30	20.060	16	25	15.22	1.274 099 12	12	12	11	38.560	-	5	50	44.04	0.672 976 95		
29	9	37	21.595	15	46	42.71	1.264 649 66	13	12	9	35.277	-	5	35	26.12	0.664 348 73		
30	9	44	13.291	15	7	31.67	1.254 779 64	14	12	7	11.370	-	5	16	3.84	0.656 941 04		
31	9	50	55.364	14	27	47.74	1.244 525 84	15	12	4	28.420	-	4	52	39.85	0.650 905 33		
Août 1	9	57	28.037	13	47	36.22	1.233 921 15	16	12	1	28.657	-	4	25	22.88	0.646 396 30		
2	10	3	51.535	13	7	2.09	1.222 994 91	17	11	58	14.998	-	3	54	28.67	0.643 568 02		
3	10	10	6.079	12	26	10.03	1.211 773 11	18	11	54	51.044	-	3	20	20.65	0.642 569 16		
4	10	16	11.884	11	45	4.47	1.200 278 78	19	11	51	21.033	-	2	43	30.11	0.643 537 60		
5	10	22	9.152	11	3	49.59	1.188 532 19	20	11	47	49.743	-	2	4	35.81	0.646 594 60		
6	10	27	58.076	10	22	29.34	1.176 551 18	21	11	44	22.340	-	1	24	22.98	0.651 839 00		
7	10	33	38.831	9	41	7.51	1.164 351 36	22	11	41	4.191	-	0	43	41.67	0.659 341 81		
8	10	39	11.576	8	59	47.72	1.151 946 40	23	11	38	0.644	-	0	3	24.60	0.669 141 68		
9	10	44	36.450	8	18	33.46	1.139 348 23	24	11	35	16.804	0	35	35.22	0.681 241 56			
10	10	49	53.573	7	37	28.10	1.126 567 26	25	11	32	57.324	1	12	26.85	0.695 606 86			
11	10	55	3.043	6	56	34.93	1.113 612 60	26	11	31	6.226	1	46	23.64	0.712 165 15			
12	11	0	4.932	6	15	57.20	1.100 492 24	27	11	29	46.763	2	16	44.84	0.730 807 30			
13	11	4	59.287	5	35	38.10	1.087 213 21	28	11	29	1.345	2	42	56.84	0.751 389 94			
14	11	9	46.129	4	55	40.82	1.073 781 81	29	11	28	51.507	3	4	33.70	0.773 739 09			
15	11	14	25.447	4	16	8.59	1.060 203 76	30	11	29	17.926	3	21	17.31	0.797 654 65			
16	11	18	57.200	3	37	4.66	1.046 484 37	Oct. 1	11	30	20.485	3	32	57.00	0.822 915 61			
17	11	23	21.312	2	58	32.37	1.032 628 73	2	11	31	58.355	3	39	29.04	0.849 285 87			

MERCURE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 11 34 10.104	3 40 55.80	0.876 520 26	Nov.	18 16 3 11.628	-21 54 31.00	1.429 300 43
	4 11 36 53.817	3 37 24.95	0.904 370 94		19 16 9 41.108	-22 17 47.43	1.424 775 10
	5 11 40 7.213	3 29 8.50	0.932 593 49		20 16 16 11.822	-22 39 57.42	1.419 691 21
	6 11 43 47.764	3 16 21.94	0.960 952 78		21 16 22 43.743	-23 0 59.63	1.414 046 10
	7 11 47 52.805	2 59 23.38	0.989 228 17		22 16 29 16.828	-23 20 52.68	1.407 836 16
	8 11 52 19.630	2 38 32.77	1.017 217 73		23 16 35 51.019	-23 39 35.22	1.401 056 81
	9 11 57 5.577	2 14 11.10	1.044 741 50		24 16 42 26.239	-23 57 5.87	1.393 702 55
	10 12 2 8.090	1 46 39.84	1.071 643 40		25 16 49 2.392	-24 13 23.25	1.385 767 00
	11 12 7 24.777	1 16 20.33	1.097 792 10		26 16 55 39.359	-24 28 26.01	1.377 242 86
	12 12 12 53.438	0 43 33.33	1.123 080 75		27 17 2 16.998	-24 42 12.78	1.368 122 00
	13 12 18 32.088	0 8 38.72	1.147 425 82		28 17 8 55.142	-24 54 42.24	1.358 395 49
	14 12 24 18.969	- 0 28 4.80	1.170 765 27		29 17 15 33.594	-25 5 53.06	1.348 053 59
15 12 30 12.539	- 1 6 19.86	1.193 056 27	30 17 22 12.125	-25 15 43.98	1.337 085 88		
16 12 36 11.475	- 1 45 50.49	1.214 272 71	Déc.	1 17 28 50.472	-25 24 13.78	1.325 481 24	
17 12 42 14.649	- 2 26 22.15	1.234 402 65		2 17 35 28.331	-25 31 21.29	1.313 227 97	
18 12 48 21.115	- 3 7 41.74	1.253 445 79	3 17 42 5.355	-25 37 5.43	1.300 313 89		
19 12 54 30.087	- 3 49 37.48	1.271 411 20	4 17 48 41.145	-25 41 25.20	1.286 726 41		
20 13 0 40.924	- 4 31 58.84	1.288 315 22	5 17 55 15.249	-25 44 19.72	1.272 452 76		
21 13 6 53.110	- 5 14 36.49	1.304 179 67	6 18 1 47.153	-25 45 48.25	1.257 480 18		
22 13 13 6.234	- 5 57 22.13	1.319 030 26	7 18 8 16.274	-25 45 50.23	1.241 796 23		
23 13 19 19.980	- 6 40 8.44	1.332 895 33	8 18 14 41.952	-25 44 25.30	1.225 389 16		
24 13 25 34.109	- 7 22 48.94	1.345 804 79	9 18 21 3.438	-25 41 33.38	1.208 248 42		
25 13 31 48.449	- 8 5 17.90	1.357 789 23	10 18 27 19.884	-25 37 14.71	1.190 365 20		
26 13 38 2.881	- 8 47 30.27	1.368 879 33	11 18 33 30.328	-25 31 29.89	1.171 733 15		
27 13 44 17.335	- 9 29 21.57	1.379 105 29	12 18 39 33.678	-25 24 19.98	1.152 349 24		
28 13 50 31.776	-10 10 47.83	1.388 496 45	13 18 45 28.698	-25 15 46.56	1.132 214 74		
29 13 56 46.203	-10 51 45.52	1.397 081 02	14 18 51 13.987	-25 5 51.79	1.111 336 51		
30 14 3 0.636	-11 32 11.48	1.404 885 90	15 18 56 47.961	-24 54 38.54	1.089 728 40		
31 14 9 15.118	-12 12 2.89	1.411 936 49	16 19 2 8.835	-24 42 10.48	1.067 413 01		
Nov.	1 14 15 29.708	-12 51 17.21	1.418 256 61	17 19 7 14.599	-24 28 32.16	1.044 423 65	
	2 14 21 44.475	-13 29 52.12	1.423 868 47	18 19 12 3.001	-24 13 49.15	1.020 806 68	
	3 14 27 59.499	-14 7 45.52	1.428 792 61	19 19 16 31.533	-23 58 8.14	0.996 624 03	
	4 14 34 14.864	-14 44 55.46	1.433 047 91	20 19 20 37.419	-23 41 37.01	0.971 956 12	
	5 14 40 30.658	-15 21 20.14	1.436 651 58	21 19 24 17.621	-23 24 24.90	0.946 904 81	
	6 14 46 46.970	-15 56 57.86	1.439 619 21	22 19 27 28.850	-23 6 42.25	0.921 596 53	
	7 14 53 3.888	-16 31 47.01	1.441 964 78	23 19 30 7.613	-22 48 40.72	0.896 185 16	
	8 14 59 21.497	-17 5 46.05	1.443 700 77	24 19 32 10.285	-22 30 33.06	0.870 854 53	
	9 15 5 39.883	-17 38 53.49	1.444 838 14	25 19 33 33.226	-22 12 32.89	0.845 820 10	
	10 15 11 59.126	-18 11 7.91	1.445 386 48	26 19 34 12.951	-21 54 54.27	0.821 329 24	
	11 15 18 19.303	-18 42 27.90	1.445 354 01	27 19 34 6.362	-21 37 51.29	0.797 659 69	
	12 15 24 40.484	-19 12 52.09	1.444 747 69	28 19 33 11.039	-21 21 37.38	0.775 115 45	
13 15 31 2.733	-19 42 19.14	1.443 573 25	29 19 31 25.586	-21 6 24.69	0.754 019 66		
14 15 37 26.108	-20 10 47.73	1.441 835 24	30 19 28 50.013	-20 52 23.50	0.734 704 08		
15 15 43 50.654	-20 38 16.52	1.439 537 12	31 19 25 26.089	-20 39 41.70	0.717 495 20		
16 15 50 16.408	-21 4 44.22	1.436 681 24	32 19 21 17.626	-20 28 24.62	0.702 697 64		
17 15 56 43.395	-21 30 9.48	1.433 268 91	33 19 16 30.603	-20 18 35.20	0.690 576 10		

VÉNUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	21	55	44.016	-14	15	11.86	0.795 164 69	Févr.	15	0	26	1.567	6	51	1.75	0.459 292 10
	1	21	59	53.723	-13	49	8.50	0.787 845 57		16	0	28	0.952	7	14	30.93	0.452 451 11
	2	22	4	1.376	-13	22	48.69	0.780 515 53		17	0	29	55.280	7	37	31.89	0.445 663 67
	3	22	8	6.964	-12	56	13.31	0.773 174 99		18	0	31	44.362	8	0	3.11	0.438 933 08
	4	22	12	10.478	-12	29	23.20	0.765 824 46		19	0	33	28.004	8	22	2.95	0.432 262 82
	5	22	16	11.910	-12	2	19.23	0.758 464 49		20	0	35	6.003	8	43	29.71	0.425 656 54
	6	22	20	11.249	-11	35	2.25	0.751 095 75		21	0	36	38.148	9	4	21.61	0.419 118 09
	7	22	24	8.485	-11	7	33.14	0.743 718 95		22	0	38	4.225	9	24	36.78	0.412 651 51
	8	22	28	3.606	-10	39	52.74	0.736 334 92		23	0	39	24.012	9	44	13.23	0.406 261 09
	9	22	31	56.601	-10	12	1.92	0.728 944 55		24	0	40	37.283	10	3	8.91	0.399 951 32
	10	22	35	47.456	-9	44	1.52	0.721 548 79		25	0	41	43.811	10	21	21.65	0.393 726 97
	11	22	39	36.158	-9	15	52.39	0.714 148 60		26	0	42	43.362	10	38	49.18	0.387 593 09
	12	22	43	22.695	-8	47	35.34	0.706 744 94		27	0	43	35.708	10	55	29.11	0.381 555 01
	13	22	47	7.055	-8	19	11.16	0.699 338 68		28	0	44	20.616	11	11	18.98	0.375 618 39
14	22	50	49.228	-7	50	40.64	0.691 930 63	Mars	1	0	44	57.862	11	26	16.18	0.369 789 25	
15	22	54	29.202	-7	22	4.55	0.684 521 54	2	0	45	27.226	11	40	18.04	0.364 073 95		
16	22	58	6.967	-6	53	23.69	0.677 112 08	3	0	45	48.498	11	53	21.77	0.358 479 22		
17	23	1	42.506	-6	24	38.82	0.669 702 87	4	0	46	1.484	12	5	24.52	0.353 012 17		
18	23	5	15.802	-5	55	50.77	0.662 294 54	5	0	46	6.006	12	16	23.38	0.347 680 30		
19	23	8	46.831	-5	27	0.33	0.654 887 71	6	0	46	1.912	12	26	15.37	0.342 491 41		
20	23	12	15.567	-4	58	8.34	0.647 483 01	7	0	45	49.079	12	34	57.54	0.337 453 67		
21	23	15	41.979	-4	29	15.64	0.640 081 11	8	0	45	27.421	12	42	26.94	0.332 575 50		
22	23	19	6.033	-4	0	23.07	0.632 682 70	9	0	44	56.893	12	48	40.72	0.327 865 56		
23	23	22	27.691	-3	31	31.49	0.625 288 53	10	0	44	17.500	12	53	36.10	0.323 332 67		
24	23	25	46.909	-3	2	41.78	0.617 899 37	11	0	43	29.298	12	57	10.49	0.318 985 75		
25	23	29	3.639	-2	33	54.82	0.610 516 05	12	0	42	32.398	12	59	21.49	0.314 833 76		
26	23	32	17.831	-2	5	11.50	0.603 139 46	13	0	41	26.970	13	0	6.92	0.310 885 63		
27	23	35	29.427	-1	36	32.74	0.595 770 55	14	0	40	13.246	12	59	24.92	0.307 150 22		
28	23	38	38.366	-1	7	59.46	0.588 410 34	15	0	38	51.520	12	57	13.95	0.303 636 27		
29	23	41	44.581	-0	39	32.60	0.581 059 95	16	0	37	22.150	12	53	32.88	0.300 352 36		
30	23	44	48.001	-0	11	13.12	0.573 720 60	17	0	35	45.563	12	48	21.05	0.297 306 87		
Févr.	31	23	47	48.549	0	16	58.01	0.566 393 61	18	0	34	2.253	12	41	38.33	0.294 507 86	
	1	23	50	46.142	0	44	59.80	0.559 080 42	19	0	32	12.778	12	33	25.16	0.291 963 08	
	2	23	53	40.691	1	12	51.25	0.551 782 62	20	0	30	17.765	12	23	42.65	0.289 679 82	
	3	23	56	32.100	1	40	31.30	0.544 501 92	21	0	28	17.896	12	12	32.58	0.287 664 91	
	4	23	59	20.270	2	7	58.93	0.537 240 22	22	0	26	13.913	11	59	57.47	0.285 924 56	
	5	0	2	5.090	2	35	13.04	0.529 999 56	23	0	24	6.605	11	46	0.54	0.284 464 36	
	6	0	4	46.447	3	2	12.54	0.522 782 13	24	0	21	56.800	11	30	45.78	0.283 289 14	
	7	0	7	24.219	3	28	56.31	0.515 590 30	25	0	19	45.358	11	14	17.90	0.282 402 99	
	8	0	9	58.282	3	55	23.22	0.508 426 57	26	0	17	33.159	10	56	42.26	0.281 809 18	
	9	0	12	28.508	4	21	32.14	0.501 293 52	27	0	15	21.094	10	38	4.89	0.281 510 12	
	10	0	14	54.763	4	47	21.91	0.494 193 83	28	0	13	10.051	10	18	32.35	0.281 507 37	
	11	0	17	16.914	5	12	51.38	0.487 130 21	29	0	11	0.907	9	58	11.72	0.281 801 62	
	12	0	19	34.820	5	37	59.35	0.480 105 41	30	0	8	54.517	9	37	10.43	0.282 392 70	
	13	0	21	48.335	6	2	44.59	0.473 122 22	31	0	6	51.707	9	15	36.24	0.283 279 58	
14	0	23	57.304	6	27	5.84	0.466 183 48	Avril	1	0	4	53.260	8	53	37.09	0.284 460 36	

VÉNUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Avril	2	0	2	59.918	8	31	20.99	0.285 932 30	Mai	18	0	49	9.343	4	13	53.26	0.550 781 28	
	3	0	1	12.365	8	8	55.96	0.287 691 83		19	0	52	12.588	4	26	14.70	0.558 589 11	
	4	23	59	31.233	7	46	29.89	0.289 734 56		20	0	55	18.528	4	39	3.46	0.566 422 77	
	5	23	57	57.088	7	24	10.46	0.292 055 33		21	0	58	27.069	4	52	18.24	0.574 280 13	
	6	23	56	30.435	7	2	5.04	0.294 648 27		22	1	1	38.119	5	5	57.77	0.582 159 20	
	7	23	55	11.709	6	40	20.61	0.297 506 81		23	1	4	51.592	5	20	0.79	0.590 058 13	
	8	23	54	1.278	6	19	3.69	0.300 623 79		24	1	8	7.406	5	34	26.06	0.597 975 23	
	9	23	52	59.442	5	58	20.28	0.303 991 54		25	1	11	25.484	5	49	12.38	0.605 908 96	
	10	23	52	6.433	5	38	15.81	0.307 601 95		26	1	14	45.752	6	4	18.56	0.613 857 98	
	11	23	51	22.416	5	18	55.12	0.311 446 57		27	1	18	8.142	6	19	43.45	0.621 821 05	
	12	23	50	47.496	5	0	22.46	0.315 516 72		28	1	21	32.594	6	35	25.91	0.629 797 03	
	13	23	50	21.720	4	42	41.47	0.319 803 57		29	1	24	59.052	6	51	24.86	0.637 784 88	
	14	23	50	5.084	4	25	55.23	0.324 298 24		30	1	28	27.470	7	7	39.23	0.645 783 55	
	15	23	49	57.535	4	10	6.28	0.328 991 86		31	1	31	57.807	7	24	7.99	0.653 791 99	
	16	23	49	58.983	3	55	16.62	0.333 875 64		Jun	1	1	35	30.026	7	40	50.14	0.661 809 15
	17	23	50	9.300	3	41	27.81	0.338 940 92		2	1	39	4.096	7	57	44.69	0.669 833 92	
18	23	50	28.328	3	28	40.96	0.344 179 22	3	1	42	39.988	8	14	50.65	0.677 865 18			
19	23	50	55.887	3	16	56.79	0.349 582 26	4	1	46	17.675	8	32	7.05	0.685 901 80			
20	23	51	31.773	3	6	15.68	0.355 142 00	5	1	49	57.132	8	49	32.93	0.693 942 60			
21	23	52	15.766	2	56	37.68	0.360 850 68	6	1	53	38.337	9	7	7.31	0.701 986 40			
22	23	53	7.634	2	48	2.56	0.366 700 81	7	1	57	21.266	9	24	49.23	0.710 032 00			
23	23	54	7.134	2	40	29.89	0.372 685 22	8	2	1	5.901	9	42	37.72	0.718 078 21			
24	23	55	14.019	2	33	58.98	0.378 797 08	9	2	4	52.219	10	0	31.83	0.726 123 84			
25	23	56	28.036	2	28	29.00	0.385 029 88	10	2	8	40.204	10	18	30.59	0.734 167 69			
26	23	57	48.932	2	23	58.97	0.391 377 51	11	2	12	29.839	10	36	33.06	0.742 208 60			
27	23	59	16.453	2	20	27.80	0.397 834 20	12	2	16	21.106	10	54	38.28	0.750 245 41			
28	0	0	50.350	2	17	54.29	0.404 394 53	13	2	20	13.992	11	12	45.30	0.758 276 98			
29	0	2	30.380	2	16	17.19	0.411 053 38	14	2	24	8.482	11	30	53.20	0.766 302 20			
30	0	4	16.305	2	15	35.21	0.417 805 90	15	2	28	4.565	11	49	1.05	0.774 319 97			
Mai	1	0	6	7.896	2	15	47.02	0.424 647 48	16	2	32	2.227	12	7	7.91	0.782 329 23		
2	0	8	4.935	2	16	51.27	0.431 573 70	17	2	36	1.459	12	25	12.89	0.790 328 95			
3	0	10	7.211	2	18	46.61	0.438 580 28	18	2	40	2.249	12	43	15.07	0.798 318 13			
4	0	12	14.522	2	21	31.67	0.445 663 10	19	2	44	4.587	13	1	13.56	0.806 295 83			
5	0	14	26.676	2	25	5.06	0.452 818 14	20	2	48	8.461	13	19	7.47	0.814 261 16			
6	0	16	43.488	2	29	25.38	0.460 041 49	21	2	52	13.859	13	36	55.92	0.822 213 34			
7	0	19	4.778	2	34	31.25	0.467 329 36	22	2	56	20.767	13	54	38.05	0.830 151 67			
8	0	21	30.373	2	40	21.23	0.474 678 05	23	3	0	29.172	14	12	12.99	0.838 075 60			
9	0	24	0.108	2	46	53.91	0.482 083 99	24	3	4	39.059	14	29	39.88	0.845 984 66			
10	0	26	33.821	2	54	7.84	0.489 543 70	25	3	8	50.418	14	46	57.88	0.853 878 52			
11	0	29	11.357	3	2	1.60	0.497 053 83	26	3	13	3.239	15	4	6.15	0.861 756 87			
12	0	31	52.566	3	10	33.74	0.504 611 16	27	3	17	17.517	15	21	3.87	0.869 619 46			
13	0	34	37.304	3	19	42.83	0.512 212 57	28	3	21	33.250	15	37	50.27	0.877 465 99			
14	0	37	25.434	3	29	27.45	0.519 855 10	29	3	25	50.437	15	54	24.54	0.885 296 14			
15	0	40	16.825	3	39	46.19	0.527 535 90	30	3	30	9.076	16	10	45.92	0.893 109 53			
16	0	43	11.352	3	50	37.65	0.535 252 25	Juill.	1	3	34	29.167	16	26	53.65	0.900 905 76		
17	0	46	8.895	4	2	0.46	0.543 001 54	2	3	38	50.706	16	42	46.95	0.908 684 33			

VÉNUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Juill.	3	3	43	13.691	16	58	25.07	0.916 444 74	Août	18	7	24	56.402	21	16	27.64	1.244 328 70
	4	3	47	38.116	17	13	47.23	0.924 186 44		19	7	29	58.644	21	9	15.40	1.250 670 97
	5	3	52	3.975	17	28	52.69	0.931 908 83		20	7	35	0.728	21	1	27.67	1.256 973 21
	6	3	56	31.260	17	43	40.67	0.939 611 30		21	7	40	2.606	20	53	4.57	1.263 235 33
	7	4	0	59.964	17	58	10.42	0.947 293 21		22	7	45	4.237	20	44	6.27	1.269 457 31
	8	4	5	30.075	18	12	21.18	0.954 953 90		23	7	50	5.581	20	34	32.96	1.275 639 20
	9	4	10	1.582	18	26	12.22	0.962 592 70		24	7	55	6.599	20	24	24.85	1.281 781 07
	10	4	14	34.474	18	39	42.77	0.970 208 89		25	8	0	7.257	20	13	42.17	1.287 883 02
	11	4	19	8.736	18	52	52.11	0.977 801 78		26	8	5	7.520	20	2	25.20	1.293 945 10
	12	4	23	44.352	19	5	39.52	0.985 370 66		27	8	10	7.354	19	50	34.22	1.299 967 34
	13	4	28	21.308	19	18	4.28	0.992 914 79		28	8	15	6.728	19	38	9.51	1.305 949 75
	14	4	32	59.584	19	30	5.68	1.000 433 46		29	8	20	5.613	19	25	11.41	1.311 892 27
15	4	37	39.161	19	41	43.05	1.007 925 96	30	8	25	3.979	19	11	40.25	1.317 794 84		
16	4	42	20.017	19	52	55.71	1.015 391 55	31	8	30	1.801	18	57	36.37	1.323 657 35		
17	4	47	2.129	20	3	43.00	1.022 829 56	Sept.	1	8	34	59.053	18	43	0.14	1.329 479 68	
18	4	51	45.468	20	14	4.29	1.030 239 31	2	8	39	55.714	18	27	51.95	1.335 261 68		
19	4	56	30.005	20	23	58.97	1.037 620 20	3	8	44	51.763	18	12	12.19	1.341 003 14		
20	5	1	15.706	20	33	26.43	1.044 971 69	4	8	49	47.183	17	56	1.28	1.346 703 87		
21	5	6	2.535	20	42	26.07	1.052 293 34	5	8	54	41.958	17	39	19.65	1.352 363 60		
22	5	10	50.454	20	50	57.32	1.059 584 83	6	8	59	36.075	17	22	7.74	1.357 982 04		
23	5	15	39.425	20	58	59.63	1.066 845 94	7	9	4	29.522	17	4	26.01	1.363 558 86		
24	5	20	29.410	21	6	32.43	1.074 076 58	8	9	9	22.291	16	46	14.95	1.369 093 70		
25	5	25	20.375	21	13	35.22	1.081 276 67	9	9	14	14.372	16	27	35.05	1.374 586 16		
26	5	30	12.287	21	20	7.50	1.088 446 19	10	9	19	5.760	16	8	26.83	1.380 035 81		
27	5	35	5.110	21	26	8.80	1.095 585 10	11	9	23	56.448	15	48	50.84	1.385 442 20		
28	5	39	58.811	21	31	38.68	1.102 693 30	12	9	28	46.431	15	28	47.63	1.390 804 87		
29	5	44	53.355	21	36	36.70	1.109 770 69	13	9	33	35.703	15	8	17.77	1.396 123 37		
30	5	49	48.703	21	41	2.47	1.116 817 08	14	9	38	24.260	14	47	21.87	1.401 397 28		
31	5	54	44.817	21	44	55.59	1.123 832 25	15	9	43	12.098	14	26	0.51	1.406 626 20		
Août	1	5	59	41.657	21	48	15.68	1.130 815 96	16	9	47	59.216	14	4	14.32	1.411 809 81	
2	6	4	39.181	21	51	2.40	1.137 767 89	17	9	52	45.615	13	42	3.92	1.416 947 88		
3	6	9	37.347	21	53	15.41	1.144 687 74	18	9	57	31.298	13	19	29.92	1.422 040 27		
4	6	14	36.112	21	54	54.38	1.151 575 13	19	10	2	16.272	12	56	32.95	1.427 086 95		
5	6	19	35.432	21	55	59.03	1.158 429 69	20	10	7	0.546	12	33	13.64	1.432 087 97		
6	6	24	35.263	21	56	29.09	1.165 250 98	21	10	11	44.132	12	9	32.65	1.437 043 46		
7	6	29	35.559	21	56	24.30	1.172 038 58	22	10	16	27.041	11	45	30.61	1.441 953 57		
8	6	34	36.276	21	55	44.43	1.178 792 00	23	10	21	9.287	11	21	8.19	1.446 818 48		
9	6	39	37.368	21	54	29.30	1.185 510 75	24	10	25	50.887	10	56	26.03	1.451 638 38		
10	6	44	38.790	21	52	38.72	1.192 194 29	25	10	30	31.856	10	31	24.80	1.456 413 42		
11	6	49	40.496	21	50	12.56	1.198 842 09	26	10	35	12.212	10	6	5.17	1.461 143 75		
12	6	54	42.439	21	47	10.70	1.205 453 58	27	10	39	51.976	9	40	27.78	1.465 829 49		
13	6	59	44.574	21	43	33.06	1.212 028 19	28	10	44	31.169	9	14	33.31	1.470 470 74		
14	7	4	46.851	21	39	19.60	1.218 565 35	29	10	49	9.814	8	48	22.43	1.475 067 60		
15	7	9	49.223	21	34	30.29	1.225 064 50	30	10	53	47.936	8	21	55.79	1.479 620 12		
16	7	14	51.640	21	29	5.16	1.231 525 09	Oct.	1	10	58	25.561	7	55	14.07	1.484 128 35	
17	7	19	54.050	21	23	4.25	1.237 946 63	2	11	3	2.717	7	28	17.92	1.488 592 31		

VÉNUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Oct.	3 11 7	39.435	7 1 8.03	1.493 011 99	Nov.	18 14 41	45.695	-14 28 2.12	1.647 064 10	
	4 11 12	15.744	6 33 45.05	1.497 387 34		19 14 46	40.649	-14 52 10.74	1.649 353 65	
	5 11 16	51.678	6 6 9.67	1.501 718 28		20 14 51	36.733	-15 15 56.82	1.651 598 65	
	6 11 21	27.269	5 38 22.56	1.506 004 64		21 14 56	33.958	-15 39 19.57	1.653 799 39	
	7 11 26	2.552	5 10 24.40	1.510 246 25		22 15 1	32.338	-16 2 18.18	1.655 956 17	
	8 11 30	37.559	4 42 15.88	1.514 442 85		23 15 6	31.884	-16 24 51.84	1.658 069 31	
	9 11 35	12.323	4 13 57.72	1.518 594 15		24 15 11	32.604	-16 46 59.77	1.660 139 12	
	10 11 39	46.878	3 45 30.63	1.522 699 84		25 15 16	34.506	-17 8 41.17	1.662 165 93	
	11 11 44	21.254	3 16 55.33	1.526 759 57		26 15 21	37.598	-17 29 55.28	1.664 150 08	
	12 11 48	55.485	2 48 12.55	1.530 773 02		27 15 26	41.885	-17 50 41.31	1.666 091 90	
	13 11 53	29.601	2 19 23.04	1.534 739 88		28 15 31	47.369	-18 10 58.51	1.667 991 72	
	14 11 58	3.638	1 50 27.53	1.538 659 87		29 15 36	54.051	-18 30 46.12	1.669 849 88	
	15 12 2	37.627	1 21 26.76	1.542 532 78		30 15 42	1.933	-18 50 3.40	1.671 666 69	
	16 12 7	11.606	0 52 21.47	1.546 358 48		Déc.	1 15 47	11.010	-19 8 49.63	1.673 442 44
	17 12 11	45.609	0 23 12.39	1.550 136 90			2 15 52	21.276	-19 27 4.08	1.675 177 35
	18 12 16	19.673	- 0 5 59.74	1.553 868 09		3 15 57	32.724	-19 44 46.03	1.676 871 60	
	19 12 20	53.833	- 0 35 14.17	1.557 552 14		4 16 2	45.340	-20 1 54.79	1.678 525 24	
20 12 25	28.126	- 1 4 30.16	1.561 189 24	5 16 7	59.108	-20 18 29.63	1.680 138 26			
21 12 30	2.588	- 1 33 46.97	1.564 779 60	6 16 13	14.010	-20 34 29.87	1.681 710 54			
22 12 34	37.253	- 2 3 3.85	1.568 323 48	7 16 18	30.026	-20 49 54.80	1.683 241 91			
23 12 39	12.158	- 2 32 20.05	1.571 821 14	8 16 23	47.132	-21 4 43.75	1.684 732 17			
24 12 43	47.339	- 3 1 34.82	1.575 272 84	9 16 29	5.305	-21 18 56.08	1.686 181 08			
25 12 48	22.833	- 3 30 47.41	1.578 678 86	10 16 34	24.515	-21 32 31.15	1.687 588 44			
26 12 52	58.677	- 3 59 57.07	1.582 039 45	11 16 39	44.731	-21 45 28.36	1.688 954 07			
27 12 57	34.910	- 4 29 3.05	1.585 354 86	12 16 45	5.920	-21 57 47.13	1.690 277 83			
28 13 2	11.569	- 4 58 4.61	1.588 625 35	13 16 50	28.043	-22 9 26.91	1.691 559 63			
29 13 6	48.693	- 5 27 0.99	1.591 851 15	14 16 55	51.057	-22 20 27.17	1.692 799 41			
30 13 11	26.323	- 5 55 51.45	1.595 032 50	15 17 1	14.919	-22 30 47.39	1.693 997 20			
31 13 16	4.496	- 6 24 35.24	1.598 169 60	16 17 6	39.579	-22 40 27.10	1.695 153 03			
Nov.	1 13 20	43.253	- 6 53 11.60	1.601 262 64	17 17 12	4.989	-22 49 25.84	1.696 267 02		
	2 13 25	22.634	- 7 21 39.79	1.604 311 78	18 17 17	31.094	-22 57 43.19	1.697 339 29		
	3 13 30	2.678	- 7 49 59.06	1.607 317 10	19 17 22	57.841	-23 5 18.73	1.698 370 03		
	4 13 34	43.423	- 8 18 8.64	1.610 278 66	20 17 28	25.175	-23 12 12.09	1.699 359 44		
	5 13 39	24.906	- 8 46 7.78	1.613 196 41	21 17 33	53.039	-23 18 22.93	1.700 307 75		
	6 13 44	7.163	- 9 13 55.69	1.616 070 24	22 17 39	21.375	-23 23 50.94	1.701 215 21		
	7 13 48	50.226	- 9 41 31.58	1.618 900 00	23 17 44	50.125	-23 28 35.85	1.702 082 08		
	8 13 53	34.128	-10 8 54.65	1.621 685 47	24 17 50	19.229	-23 32 37.40	1.702 908 64		
	9 13 58	18.900	-10 36 4.09	1.624 426 42	25 17 55	48.628	-23 35 55.38	1.703 695 19		
	10 14 3	4.573	-11 2 59.10	1.627 122 59	26 18 1	18.260	-23 38 29.63	1.704 442 04		
	11 14 7	51.175	-11 29 38.85	1.629 773 78	27 18 6	48.066	-23 40 20.00	1.705 149 51		
	12 14 12	38.738	-11 56 2.54	1.632 379 80	28 18 12	17.985	-23 41 26.39	1.705 817 93		
	13 14 17	27.287	-12 22 9.36	1.634 940 51	29 18 17	47.954	-23 41 48.74	1.706 447 63		
	14 14 22	16.851	-12 47 58.50	1.637 455 83	30 18 23	17.912	-23 41 27.01	1.707 038 93		
	15 14 27	7.452	-13 13 29.16	1.639 925 76	31 18 28	47.796	-23 40 21.19	1.707 592 07		
	16 14 31	59.114	-13 38 40.52	1.642 350 36	32 18 34	17.542	-23 38 31.33	1.708 107 25		
	17 14 36	51.855	-14 3 31.77	1.644 729 75	33 18 39	47.089	-23 35 57.47	1.708 584 55		

MARS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua			
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"				
Janv.	0	18	12	7.615	-24	6	6.74	2.430 743 59	Févr.	15	20	42	51.425	-19	15	21.91	2.312 788 80	
	1	18	15	25.404	-24	5	33.12	2.428 567 00		16	20	46	2.526	-19	3	28.61	2.309 955 95	
	2	18	18	43.339	-24	4	43.79	2.426 366 39		17	20	49	13.267	-18	51	23.01	2.307 116 44	
	3	18	22	1.406	-24	3	38.72	2.424 142 39		18	20	52	23.643	-18	39	5.28	2.304 270 32	
	4	18	25	19.590	-24	2	17.88	2.421 895 67		19	20	55	33.647	-18	26	35.60	2.301 417 63	
	5	18	28	37.877	-24	0	41.25	2.419 626 96		20	20	58	43.275	-18	13	54.13	2.298 558 45	
	6	18	31	56.254	-23	58	48.84	2.417 336 98		21	21	1	52.521	-18	1	1.07	2.295 692 88	
	7	18	35	14.708	-23	56	40.63	2.415 026 49		22	21	5	1.381	-17	47	56.59	2.292 821 03	
	8	18	38	33.225	-23	54	16.65	2.412 696 23		23	21	8	9.849	-17	34	40.87	2.289 943 05	
	9	18	41	51.791	-23	51	36.90	2.410 346 90		24	21	11	17.921	-17	21	14.09	2.287 059 15	
	10	18	45	10.391	-23	48	41.40	2.407 979 13		25	21	14	25.595	-17	7	36.45	2.284 169 53	
	11	18	48	29.010	-23	45	30.15	2.405 593 45		26	21	17	32.867	-16	53	48.11	2.281 274 49	
	12	18	51	47.632	-23	42	3.17	2.403 190 25		27	21	20	39.736	-16	39	49.27	2.278 374 34	
	13	18	55	6.243	-23	38	20.45	2.400 769 82		28	21	23	46.201	-16	25	40.10	2.275 469 48	
	14	18	58	24.832	-23	34	22.00	2.398 332 33		Mars	1	21	26	52.262	-16	11	20.81	2.272 560 33
	15	19	1	43.386	-23	30	7.82	2.395 877 87		2	21	29	57.919	-15	56	51.58	2.269 647 38	
	16	19	5	1.895	-23	25	37.94	2.393 406 51		3	21	33	3.173	-15	42	12.60	2.266 731 13	
	17	19	8	20.346	-23	20	52.40	2.390 918 32		4	21	36	8.024	-15	27	24.08	2.263 812 14	
	18	19	11	38.728	-23	15	51.24	2.388 413 37		5	21	39	12.472	-15	12	26.21	2.260 890 92	
19	19	14	57.026	-23	10	34.51	2.385 891 78	6	21	42	16.517	-14	57	19.19	2.257 968 00			
20	19	18	15.226	-23	5	2.28	2.383 353 68	7	21	45	20.159	-14	42	3.21	2.255 043 84			
21	19	21	33.313	-22	59	14.62	2.380 799 24	8	21	48	23.400	-14	26	38.46	2.252 118 86			
22	19	24	51.274	-22	53	11.60	2.378 228 66	9	21	51	26.242	-14	11	5.12	2.249 193 37			
23	19	28	9.092	-22	46	53.29	2.375 642 18	10	21	54	28.690	-13	55	23.36	2.246 267 57			
24	19	31	26.752	-22	40	19.77	2.373 040 06	11	21	57	30.749	-13	39	33.35	2.243 341 59			
25	19	34	44.240	-22	33	31.12	2.370 422 61	12	22	0	32.426	-13	23	35.25	2.240 415 43			
26	19	38	1.540	-22	26	27.45	2.367 790 16	13	22	3	33.728	-13	7	29.26	2.237 489 02			
27	19	41	18.639	-22	19	8.82	2.365 143 09	14	22	6	34.660	-12	51	15.54	2.234 562 22			
28	19	44	35.522	-22	11	35.34	2.362 481 82	15	22	9	35.228	-12	34	54.30	2.231 634 88			
29	19	47	52.178	-22	3	47.10	2.359 806 84	16	22	12	35.436	-12	18	25.73	2.228 706 82			
30	19	51	8.594	-21	55	44.19	2.357 118 64	17	22	15	35.287	-12	1	50.04	2.225 777 86			
31	19	54	24.760	-21	47	26.73	2.354 417 80	18	22	18	34.785	-11	45	7.44	2.222 847 84			
Févr.	1	19	57	40.666	-21	38	54.83	2.351 704 92	19	22	21	33.933	-11	28	18.13	2.219 916 59		
	2	20	0	56.302	-21	30	8.59	2.348 980 63	20	22	24	32.733	-11	11	22.32	2.216 983 98		
	3	20	4	11.661	-21	21	8.15	2.346 245 60	21	22	27	31.189	-10	54	20.22	2.214 049 88		
	4	20	7	26.733	-21	11	53.63	2.343 500 51	22	22	30	29.304	-10	37	12.04	2.211 114 17		
	5	20	10	41.510	-21	2	25.16	2.340 746 04	23	22	33	27.081	-10	19	58.00	2.208 176 76		
	6	20	13	55.984	-20	52	42.87	2.337 982 85	24	22	36	24.525	-10	2	38.29	2.205 237 59		
	7	20	17	10.145	-20	42	46.92	2.335 211 54	25	22	39	21.638	-9	45	13.13	2.202 296 61		
	8	20	20	23.985	-20	32	37.41	2.332 432 63	26	22	42	18.427	-9	27	42.72	2.199 353 86		
	9	20	23	37.496	-20	22	14.49	2.329 646 54	27	22	45	14.896	-9	10	7.27	2.196 409 39		
	10	20	26	50.672	-20	11	38.26	2.326 853 55	28	22	48	11.051	-8	52	26.98	2.193 463 33		
	11	20	30	3.511	-20	0	48.84	2.324 053 84	29	22	51	6.898	-8	34	42.06	2.190 515 90		
	12	20	33	16.008	-19	49	46.36	2.321 247 51	30	22	54	2.442	-8	16	52.71	2.187 567 35		
	13	20	36	28.162	-19	38	30.94	2.318 434 57	31	22	56	57.690	-7	58	59.15	2.184 617 99		
	14	20	39	39.969	-19	27	2.74	2.315 615 01	Avril	1	22	59	52.644	-7	41	1.58	2.181 668 17	

MARS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua
Avril	2	23	2	47.311	-	7	23	0.22	2.178	718	25				
	3	23	5	41.695	-	7	4	55.26	2.175	768	55				
	4	23	8	35.802	-	6	46	46.91	2.172	819	39				
	5	23	11	29.638	-	6	28	35.36	2.169	870	99				
	6	23	14	23.213	-	6	10	20.79	2.166	923	53				
	7	23	17	16.534	-	5	52	3.36	2.163	977	07				
	8	23	20	9.614	-	5	33	43.26	2.161	031	61				
	9	23	23	2.462	-	5	15	20.64	2.158	087	03				
	10	23	25	55.089	-	4	56	55.70	2.155	143	14				
	11	23	28	47.505	-	4	38	28.61	2.152	199	70				
	12	23	31	39.718	-	4	19	59.55	2.149	256	40				
13	23	34	31.736	-	4	1	28.71	2.146	312	90					
14	23	37	23.568	-	3	42	56.30	2.143	368	85					
15	23	40	15.218	-	3	24	22.51	2.140	423	89					
16	23	43	6.694	-	3	5	47.54	2.137	477	66					
17	23	45	58.002	-	2	47	11.60	2.134	529	79					
18	23	48	49.148	-	2	28	34.87	2.131	579	94					
19	23	51	40.138	-	2	9	57.57	2.128	627	76					
20	23	54	30.979	-	1	51	19.89	2.125	672	90					
21	23	57	21.678	-	1	32	42.03	2.122	715	07					
22	0	0	12.240	-	1	14	4.19	2.119	753	96					
23	0	3	2.674	-	0	55	26.56	2.116	789	33					
24	0	5	52.985	-	0	36	49.33	2.113	820	96					
25	0	8	43.182	-	0	18	12.70	2.110	848	72					
26	0	11	33.270	0	0	23.15	2.107	872	57						
27	0	14	23.255	0	18	58.01	2.104	892	52						
28	0	17	13.142	0	37	31.69	2.101	908	68						
29	0	20	2.935	0	56	4.00	2.098	921	22						
30	0	22	52.639	1	14	34.74	2.095	930	31						
Mai	1	0	25	42.259	1	33	3.71	2.092	936	14					
2	0	28	31.800	1	51	30.74	2.089	938	84						
3	0	31	21.271	2	9	55.67	2.086	938	53						
4	0	34	10.682	2	28	18.32	2.083	935	21						
5	0	37	0.041	2	46	38.53	2.080	928	84						
6	0	39	49.360	3	4	56.17	2.077	919	27						
7	0	42	38.648	3	23	11.07	2.074	906	30						
8	0	45	27.914	3	41	23.07	2.071	889	64						
9	0	48	17.169	3	59	32.03	2.068	868	92						
10	0	51	6.418	4	17	37.77	2.065	843	76						
11	0	53	55.671	4	35	40.12	2.062	813	69						
12	0	56	44.932	4	53	38.92	2.059	778	25						
13	0	59	34.207	5	11	33.99	2.056	736	92						
14	1	2	23.504	5	29	25.15	2.053	689	21						
15	1	5	12.826	5	47	12.23	2.050	634	58						
16	1	8	2.179	6	4	55.05	2.047	572	52						
17	1	10	51.568	6	22	33.44	2.044	502	51						
Mai	18	1	13	40.999	6	40	7.21	2.041	424	03					
	19	1	16	30.476	6	57	36.21	2.038	336	57					
	20	1	19	20.006	7	15	0.24	2.035	239	64					
	21	1	22	9.592	7	32	19.16	2.032	132	78					
	22	1	24	59.241	7	49	32.79	2.029	015	56					
	23	1	27	48.955	8	6	40.97	2.025	887	62					
	24	1	30	38.739	8	23	43.53	2.022	748	69					
	25	1	33	28.593	8	40	40.31	2.019	598	59					
	26	1	36	18.519	8	57	31.14	2.016	437	24					
	27	1	39	8.517	9	14	15.84	2.013	264	65					
	28	1	41	58.586	9	30	54.25	2.010	080	87					
29	1	44	48.729	9	47	26.19	2.006	885	99						
30	1	47	38.950	10	3	51.53	2.003	680	06						
31	1	50	29.252	10	20	10.12	2.000	463	11						
Juin	1	1	53	19.643	10	36	21.82	1.997	235	08					
2	1	56	10.130	10	52	26.51	1.993	995	85						
3	1	59	0.718	11	8	24.06	1.990	745	22						
4	2	1	51.413	11	24	14.35	1.987	482	92						
5	2	4	42.220	11	39	57.26	1.984	208	62						
6	2	7	33.144	11	55	32.66	1.980	921	93						
7	2	10	24.188	12	11	0.42	1.977	622	41						
8	2	13	15.355	12	26	20.40	1.974	309	56						
9	2	16	6.647	12	41	32.47	1.970	982	87						
10	2	18	58.066	12	56	36.48	1.967	641	78						
11	2	21	49.612	13	11	32.31	1.964	285	71						
12	2	24	41.289	13	26	19.80	1.960	914	08						
13	2	27	33.095	13	40	58.83	1.957	526	28						
14	2	30	25.033	13	55	29.25	1.954	121	70						
15	2	33	17.103	14	9	50.93	1.950	699	74						
16	2	36	9.305	14	24	3.74	1.947	259	79						
17	2	39	1.641	14	38	7.56	1.943	801	24						
18	2	41	54.110	14	52	2.25	1.940	323	53						
19	2	44	46.710	15	5	47.69	1.936	826	10						
20	2	47	39.441	15	19	23.77	1.933	308	46						
21	2	50	32.300	15	32	50.37	1.929	770	19						
22	2	53	25.280	15	46	7.37	1.926	210	97						
23	2	56	18.375	15	59	14.66	1.922	630	60						
24	2	59	11.578	16	12	12.09	1.919	028	98						
25	3	2	4.883	16	24	59.56	1.915	406	09						
26	3	4	58.286	16	37	36.94	1.911	761	99						
27	3	7	51.782	16	50	4.13	1.908	096	72						
28	3	10	45.373	17	2	21.04	1.904	410	31						
29	3	13	39.059	17	14	27.57	1.900	702	71						
30	3	16	32.838	17	26	23.67	1.896	973	83						
Juill.	1	3	19	26.711	17	38	9.24	1.893	223	48					
2	3	22	20.677	17	49	44.23	1.889	451	44						

MARS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua			
	h	m	s	°	'	"			h	m	s	°	'	"				
Juill.	3	3	25	14.734	18	1	8.56	1.885 657 40	Août	18	5	38	20.763	23	18	29.79	1.680 247 70	
	4	3	28	8.878	18	12	22.15	1.881 841 01		19	5	41	10.378	23	20	48.51	1.674 993 15	
	5	3	31	3.107	18	23	24.93	1.878 001 86		20	5	43	59.625	23	22	55.98	1.669 700 13	
	6	3	33	57.417	18	34	16.83	1.874 139 52		21	5	46	48.490	23	24	52.27	1.664 368 80	
	7	3	36	51.803	18	44	57.76	1.870 253 49		22	5	49	36.960	23	26	37.45	1.658 999 39	
	8	3	39	46.260	18	55	27.64	1.866 343 27		23	5	52	25.025	23	28	11.62	1.653 592 13	
	9	3	42	40.784	19	5	46.41	1.862 408 30		24	5	55	12.674	23	29	34.85	1.648 147 29	
	10	3	45	35.369	19	15	53.98	1.858 448 03		25	5	57	59.897	23	30	47.25	1.642 665 05	
	11	3	48	30.011	19	25	50.27	1.854 461 85		26	6	0	46.686	23	31	48.93	1.637 145 57	
	12	3	51	24.703	19	35	35.23	1.850 449 19		27	6	3	33.028	23	32	39.98	1.631 588 94	
	13	3	54	19.440	19	45	8.77	1.846 409 42		28	6	6	18.913	23	33	20.50	1.625 995 19	
	14	3	57	14.217	19	54	30.85	1.842 341 95		29	6	9	4.330	23	33	50.61	1.620 364 32	
	15	4	0	9.027	20	3	41.39	1.838 246 16		30	6	11	49.267	23	34	10.40	1.614 696 28	
	16	4	3	3.863	20	12	40.35	1.834 121 47		31	6	14	33.714	23	34	19.97	1.608 990 96	
	17	4	5	58.717	20	21	27.69	1.829 967 31		Sept.	1	6	17	17.659	23	34	19.42	1.603 248 25
	18	4	8	53.579	20	30	3.35	1.825 783 16		2	6	20	1.093	23	34	8.85	1.597 467 98	
	19	4	11	48.439	20	38	27.31	1.821 568 57		3	6	22	44.004	23	33	48.38	1.591 649 97	
20	4	14	43.284	20	46	39.53	1.817 323 16	4	6	25	26.382	23	33	18.10	1.585 793 99			
21	4	17	38.100	20	54	39.96	1.813 046 70	5	6	28	8.217	23	32	38.12	1.579 899 77			
22	4	20	32.871	21	2	28.56	1.808 739 05	6	6	30	49.500	23	31	48.56	1.573 967 04			
23	4	23	27.584	21	10	5.29	1.804 400 19	7	6	33	30.221	23	30	49.53	1.567 995 50			
24	4	26	22.227	21	17	30.11	1.800 030 18	8	6	36	10.369	23	29	41.16	1.561 984 81			
25	4	29	16.792	21	24	42.99	1.795 629 13	9	6	38	49.933	23	28	23.58	1.555 934 66			
26	4	32	11.271	21	31	43.91	1.791 197 14	10	6	41	28.902	23	26	56.95	1.549 844 75			
27	4	35	5.657	21	38	32.89	1.786 734 27	11	6	44	7.262	23	25	21.39	1.543 714 78			
28	4	37	59.944	21	45	9.91	1.782 240 54	12	6	46	44.998	23	23	37.08	1.537 544 52			
29	4	40	54.125	21	51	34.99	1.777 715 87	13	6	49	22.093	23	21	44.16	1.531 333 80			
30	4	43	48.190	21	57	48.14	1.773 160 16	14	6	51	58.531	23	19	42.81	1.525 082 54			
31	4	46	42.133	22	3	49.36	1.768 573 23	15	6	54	34.293	23	17	33.16	1.518 790 73			
Août	1	4	49	35.944	22	9	38.67	1.763 954 83	16	6	57	9.362	23	15	15.39	1.512 458 52		
2	4	52	29.613	22	15	16.08	1.759 304 70	17	6	59	43.721	23	12	49.64	1.506 086 14			
3	4	55	23.131	22	20	41.59	1.754 622 52	18	7	2	17.356	23	10	16.07	1.499 673 95			
4	4	58	16.487	22	25	55.22	1.749 907 94	19	7	4	50.255	23	7	34.84	1.493 222 39			
5	5	1	9.673	22	30	56.96	1.745 160 56	20	7	7	22.407	23	4	46.12	1.486 731 97			
6	5	4	2.677	22	35	46.85	1.740 379 98	21	7	9	53.801	23	1	50.09	1.480 203 18			
7	5	6	55.490	22	40	24.88	1.735 565 74	22	7	12	24.427	22	58	46.91	1.473 636 54			
8	5	9	48.102	22	44	51.07	1.730 717 36	23	7	14	54.275	22	55	36.78	1.467 032 51			
9	5	12	40.503	22	49	5.45	1.725 834 36	24	7	17	23.334	22	52	19.88	1.460 391 52			
10	5	15	32.684	22	53	8.05	1.720 916 22	25	7	19	51.593	22	48	56.37	1.453 713 93			
11	5	18	24.633	22	56	58.89	1.715 962 42	26	7	22	19.041	22	45	26.44	1.447 000 10			
12	5	21	16.341	23	0	38.01	1.710 972 46	27	7	24	45.668	22	41	50.26	1.440 250 31			
13	5	24	7.795	23	4	5.47	1.705 945 82	28	7	27	11.464	22	38	8.00	1.433 464 82			
14	5	26	58.983	23	7	21.32	1.700 882 04	29	7	29	36.417	22	34	19.84	1.426 643 88			
15	5	29	49.890	23	10	25.61	1.695 780 67	30	7	32	0.519	22	30	25.95	1.419 787 69			
16	5	32	40.501	23	13	18.41	1.690 641 33	Oct.	1	7	34	23.760	22	26	26.50	1.412 896 42		
17	5	35	30.798	23	15	59.78	1.685 463 74	2	7	36	46.129	22	22	21.67	1.405 970 22			

MARS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	7	39	7.619	22	18	11.64	1.399 009 19	Nov.	18	9	7	23.922	18	37	58.79	1.049 276 77	
	4	7	41	28.219	22	13	56.58	1.392 013 42		19	9	8	45.531	18	34	10.38	1.041 352 28	
	5	7	43	47.922	22	9	36.70	1.384 982 95		20	9	10	5.303	18	30	29.11	1.033 435 25	
	6	7	46	6.715	22	5	12.17	1.377 917 82		21	9	11	23.204	18	26	55.26	1.025 527 64	
	7	7	48	24.589	22	0	43.22	1.370 818 05		22	9	12	39.205	18	23	29.14	1.017 631 41	
	8	7	50	41.529	21	56	10.05	1.363 683 68		23	9	13	53.273	18	20	11.04	1.009 748 52	
	9	7	52	57.522	21	51	32.89	1.356 514 78		24	9	15	5.376	18	17	1.24	1.001 880 95	
	10	7	55	12.551	21	46	51.97	1.349 311 48		25	9	16	15.481	18	14	0.04	0.994 030 68	
	11	7	57	26.597	21	42	7.52	1.342 073 99		26	9	17	23.557	18	11	7.73	0.986 199 69	
	12	7	59	39.640	21	37	19.78	1.334 802 61		27	9	18	29.569	18	8	24.58	0.978 389 98	
	13	8	1	51.663	21	32	28.97	1.327 497 75		28	9	19	33.486	18	5	50.88	0.970 603 54	
	14	8	4	2.646	21	27	35.33	1.320 159 95		29	9	20	35.273	18	3	26.93	0.962 842 37	
	15	8	6	12.571	21	22	39.09	1.312 789 86		30	9	21	34.895	18	1	13.03	0.955 108 47	
	16	8	8	21.422	21	17	40.47	1.305 388 24		Déc.	1	9	22	32.316	17	59	9.46	0.947 403 83
	17	8	10	29.184	21	12	39.71	1.297 955 95			2	9	23	27.495	17	57	16.56	0.939 730 47
	18	8	12	35.841	21	7	37.04	1.290 493 92		3	9	24	20.391	17	55	34.64	0.932 090 45	
	19	8	14	41.380	21	2	32.72	1.283 003 12		4	9	25	10.958	17	54	4.04	0.924 485 90	
20	8	16	45.785	20	57	26.97	1.275 484 53	5	9	25	59.147	17	52	45.10	0.916 919 09			
21	8	18	49.042	20	52	20.05	1.267 939 13	6	9	26	44.907	17	51	38.16	0.909 392 42			
22	8	20	51.135	20	47	12.20	1.260 367 88	7	9	27	28.187	17	50	43.55	0.901 908 51			
23	8	22	52.049	20	42	3.65	1.252 771 71	8	9	28	8.937	17	50	1.57	0.894 470 16			
24	8	24	51.768	20	36	54.65	1.245 151 52	9	9	28	47.106	17	49	32.55	0.887 080 34			
25	8	26	50.278	20	31	45.42	1.237 508 19	10	9	29	22.646	17	49	16.76	0.879 742 23			
26	8	28	47.563	20	26	36.20	1.229 842 56	11	9	29	55.507	17	49	14.48	0.872 459 13			
27	8	30	43.607	20	21	27.23	1.222 155 48	12	9	30	25.643	17	49	25.99	0.865 234 50			
28	8	32	38.395	20	16	18.74	1.214 447 76	13	9	30	53.006	17	49	51.54	0.858 071 88			
29	8	34	31.913	20	11	10.95	1.206 720 20	14	9	31	17.550	17	50	31.36	0.850 974 93			
30	8	36	24.145	20	6	4.12	1.198 973 57	15	9	31	39.229	17	51	25.66	0.843 947 37			
31	8	38	15.075	20	0	58.47	1.191 208 63	16	9	31	57.999	17	52	34.63	0.836 992 98			
Nov.	1	8	40	4.688	19	55	54.26	1.183 426 10	17	9	32	13.816	17	53	58.46	0.830 115 58		
	2	8	41	52.967	19	50	51.73	1.175 626 68	18	9	32	26.640	17	55	37.27	0.823 319 04		
	3	8	43	39.894	19	45	51.15	1.167 811 04	19	9	32	36.432	17	57	31.18	0.816 607 23		
	4	8	45	25.451	19	40	52.78	1.159 979 88	20	9	32	43.153	17	59	40.29	0.809 984 08		
	5	8	47	9.614	19	35	56.93	1.152 133 87	21	9	32	46.769	18	2	4.64	0.803 453 50		
	6	8	48	52.359	19	31	3.89	1.144 273 77	22	9	32	47.248	18	4	44.29	0.797 019 45		
	7	8	50	33.657	19	26	13.96	1.136 400 40	23	9	32	44.559	18	7	39.22	0.790 685 87		
	8	8	52	13.479	19	21	27.45	1.128 514 69	24	9	32	38.676	18	10	49.41	0.784 456 75		
	9	8	53	51.795	19	16	44.68	1.120 617 71	25	9	32	29.574	18	14	14.81	0.778 336 06		
	10	8	55	28.575	19	12	5.96	1.112 710 64	26	9	32	17.232	18	17	55.33	0.772 327 76		
	11	8	57	3.788	19	7	31.59	1.104 794 83	27	9	32	1.631	18	21	50.87	0.766 435 84		
	12	8	58	37.404	19	3	1.87	1.096 871 75	28	9	31	42.756	18	26	1.28	0.760 664 23		
	13	9	0	9.394	18	58	37.13	1.088 943 01	29	9	31	20.592	18	30	26.40	0.755 016 89		
	14	9	1	39.728	18	54	17.66	1.081 010 32	30	9	30	55.129	18	35	6.04	0.749 497 72		
	15	9	3	8.379	18	50	3.78	1.073 075 46	31	9	30	26.355	18	40	0.00	0.744 110 68		
	16	9	4	35.314	18	45	55.80	1.065 140 31	32	9	29	54.261	18	45	8.04	0.738 859 74		
	17	9	6	0.506	18	41	54.03	1.057 206 76	33	9	29	18.840	18	50	29.90	0.733 749 00		

JUPITER 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	20	3	37.934	-20	49	19.96	6.03411513	Févr.	15	20	48	14.135	-18	20	18.10	6.03516028
	1	20	4	35.754	-20	46	34.49	6.03886155		16	20	49	10.673	-18	16	41.84	6.03027033
	2	20	5	33.673	-20	43	47.47	6.04340207		17	20	50	7.061	-18	13	5.08	6.02517826
	3	20	6	31.684	-20	40	58.90	6.04773610		18	20	51	3.293	-18	9	27.86	6.01988469
	4	20	7	29.783	-20	38	8.80	6.05186312		19	20	51	59.363	-18	5	50.22	6.01439028
	5	20	8	27.965	-20	35	17.18	6.05578271		20	20	52	55.264	-18	2	12.20	6.00869576
	6	20	9	26.224	-20	32	24.06	6.05949457		21	20	53	50.990	-17	58	33.84	6.00280195
	7	20	10	24.556	-20	29	29.44	6.06299845		22	20	54	46.535	-17	54	55.18	5.99670973
	8	20	11	22.956	-20	26	33.37	6.06629418		23	20	55	41.891	-17	51	16.26	5.99042006
	9	20	12	21.417	-20	23	35.87	6.06938164		24	20	56	37.052	-17	47	37.11	5.98393398
	10	20	13	19.932	-20	20	36.96	6.07226068		25	20	57	32.013	-17	43	57.77	5.97725263
	11	20	14	18.493	-20	17	36.68	6.07493113		26	20	58	26.767	-17	40	18.26	5.97037724
	12	20	15	17.092	-20	14	35.03	6.07739271		27	20	59	21.311	-17	36	38.63	5.96330916
	13	20	16	15.722	-20	11	32.02	6.07964504		28	21	0	15.640	-17	32	58.90	5.95604981
14	20	17	14.379	-20	8	27.66	6.08168766	Mars	1	21	1	9.750	-17	29	19.10	5.94860075	
15	20	18	13.059	-20	5	21.93	6.08352003	2	21	2	3.637	-17	25	39.28	5.94096358		
16	20	19	11.759	-20	2	14.84	6.08514156	3	21	2	57.297	-17	21	59.48	5.93314000		
17	20	20	10.476	-19	59	6.42	6.08655169	4	21	3	50.724	-17	18	19.75	5.92513176		
18	20	21	9.205	-19	55	56.68	6.08774986	5	21	4	43.912	-17	14	40.13	5.91694062		
19	20	22	7.941	-19	52	45.64	6.08873556	6	21	5	36.855	-17	11	0.67	5.90856836		
20	20	23	6.680	-19	49	33.33	6.08950834	7	21	6	29.547	-17	7	21.42	5.90001673		
21	20	24	5.414	-19	46	19.78	6.09006783	8	21	7	21.980	-17	3	42.42	5.89128741		
22	20	25	4.138	-19	43	5.02	6.09041370	9	21	8	14.150	-17	0	3.68	5.88238202		
23	20	26	2.844	-19	39	49.08	6.09054569	10	21	9	6.052	-16	56	25.24	5.87330212		
24	20	27	1.526	-19	36	32.00	6.09046364	11	21	9	57.683	-16	52	47.12	5.86404914		
25	20	28	0.176	-19	33	13.79	6.09016743	12	21	10	49.040	-16	49	9.33	5.85462448		
26	20	28	58.786	-19	29	54.48	6.08965706	13	21	11	40.122	-16	45	31.92	5.84502948		
27	20	29	57.351	-19	26	34.11	6.08893258	14	21	12	30.925	-16	41	54.91	5.83526549		
28	20	30	55.863	-19	23	12.69	6.08799415	15	21	13	21.444	-16	38	18.35	5.82533384		
29	20	31	54.316	-19	19	50.25	6.08684205	16	21	14	11.676	-16	34	42.29	5.81523592		
30	20	32	52.705	-19	16	26.80	6.08547661	17	21	15	1.614	-16	31	6.77	5.80497318		
31	20	33	51.025	-19	13	2.36	6.08389829	18	21	15	51.251	-16	27	31.85	5.79454711		
Févr.	1	20	34	49.271	-19	9	36.97	6.08210765	19	21	16	40.583	-16	23	57.57	5.78395928	
	2	20	35	47.440	-19	6	10.65	6.08010533	20	21	17	29.601	-16	20	23.99	5.77321133	
	3	20	36	45.527	-19	2	43.42	6.07789204	21	21	18	18.299	-16	16	51.15	5.76230494	
	4	20	37	43.527	-18	59	15.33	6.07546858	22	21	19	6.671	-16	13	19.10	5.75124189	
	5	20	38	41.435	-18	55	46.40	6.07283578	23	21	19	54.710	-16	9	47.88	5.74002402	
	6	20	39	39.244	-18	52	16.69	6.06999452	24	21	20	42.410	-16	6	17.54	5.72865327	
	7	20	40	36.949	-18	48	46.23	6.06694564	25	21	21	29.766	-16	2	48.11	5.71713166	
	8	20	41	34.541	-18	45	15.04	6.06368994	26	21	22	16.771	-15	59	19.64	5.70546131	
	9	20	42	32.014	-18	41	43.16	6.06022817	27	21	23	3.422	-15	55	52.16	5.69364444	
	10	20	43	29.363	-18	38	10.60	6.05656095	28	21	23	49.714	-15	52	25.72	5.68168340	
	11	20	44	26.584	-18	34	37.37	6.05268883	29	21	24	35.643	-15	49	0.37	5.66958062	
	12	20	45	23.674	-18	31	3.49	6.04861228	30	21	25	21.204	-15	45	36.14	5.65733863	
	13	20	46	20.632	-18	27	28.96	6.04433172	31	21	26	6.391	-15	42	13.09	5.64496001	
	14	20	47	17.453	-18	23	53.82	6.03984757	Avril	1	21	26	51.200	-15	38	51.29	5.63244739

JUPITER 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Avril	2	21	27	35.622	-15	35	30.78	5.619 803 40	Mai	18	21	53	7.404	-13	37	42.63	4.940 687 93
	3	21	28	19.651	-15	32	11.61	5.607 030 64		19	21	53	27.465	-13	36	12.81	4.924 915 86
	4	21	29	3.280	-15	28	53.84	5.594 131 67		20	21	53	46.871	-13	34	46.39	4.909 153 13
	5	21	29	46.504	-15	25	37.49	5.581 108 98		21	21	54	5.617	-13	33	23.40	4.893 403 57
	6	21	30	29.317	-15	22	22.60	5.567 965 01		22	21	54	23.699	-13	32	3.89	4.877 671 13
	7	21	31	11.715	-15	19	9.20	5.554 702 09		23	21	54	41.112	-13	30	47.89	4.861 959 87
	8	21	31	53.697	-15	15	57.32	5.541 322 52		24	21	54	57.854	-13	29	35.44	4.846 273 97
	9	21	32	35.258	-15	12	46.98	5.527 828 52		25	21	55	13.917	-13	28	26.58	4.830 617 67
	10	21	33	16.396	-15	9	38.23	5.514 222 28		26	21	55	29.297	-13	27	21.35	4.814 995 30
	11	21	33	57.106	-15	6	31.11	5.500 506 00		27	21	55	43.987	-13	26	19.81	4.799 411 15
	12	21	34	37.383	-15	3	25.67	5.486 681 87		28	21	55	57.980	-13	25	21.98	4.783 869 52
13	21	35	17.223	-15	0	21.96	5.472 752 13	29	21	56	11.271	-13	24	27.89	4.768 374 58		
14	21	35	56.618	-14	57	20.04	5.458 719 06	30	21	56	23.857	-13	23	37.56	4.752 930 45		
15	21	36	35.561	-14	54	19.96	5.444 585 02	31	21	56	35.734	-13	22	50.99	4.737 541 12		
16	21	37	14.046	-14	51	21.78	5.430 352 40	Juin	1	21	56	46.902	-13	22	8.19	4.722 210 52	
17	21	37	52.066	-14	48	25.55	5.416 023 68		2	21	56	57.360	-13	21	29.17	4.706 942 49	
18	21	38	29.613	-14	45	31.31	5.401 601 42		3	21	57	7.106	-13	20	53.94	4.691 740 83	
19	21	39	6.681	-14	42	39.13	5.387 088 23		4	21	57	16.139	-13	20	22.51	4.676 609 32	
20	21	39	43.263	-14	39	49.05	5.372 486 81		5	21	57	24.457	-13	19	54.90	4.661 551 70	
21	21	40	19.352	-14	37	1.11	5.357 799 94		6	21	57	32.058	-13	19	31.13	4.646 571 73	
22	21	40	54.943	-14	34	15.37	5.343 030 50	7	21	57	38.937	-13	19	11.23	4.631 673 20		
23	21	41	30.030	-14	31	31.85	5.328 181 46	8	21	57	45.092	-13	18	55.22	4.616 859 90		
24	21	42	4.608	-14	28	50.61	5.313 255 91	9	21	57	50.519	-13	18	43.12	4.602 135 68		
25	21	42	38.673	-14	26	11.68	5.298 257 06	10	21	57	55.213	-13	18	34.96	4.587 504 42		
26	21	43	12.220	-14	23	35.13	5.283 188 22	11	21	57	59.173	-13	18	30.74	4.572 970 06		
27	21	43	45.243	-14	21	1.00	5.268 052 80	12	21	58	2.394	-13	18	30.49	4.558 536 60		
28	21	44	17.735	-14	18	29.35	5.252 854 26	13	21	58	4.874	-13	18	34.21	4.544 208 08		
29	21	44	49.690	-14	16	0.23	5.237 596 10	14	21	58	6.610	-13	18	41.91	4.529 988 62		
30	21	45	21.100	-14	13	33.71	5.222 281 77	15	21	58	7.601	-13	18	53.59	4.515 882 40		
Mai	1	21	45	51.957	-14	11	9.83	5.206 914 71	16	21	58	7.847	-13	19	9.25	4.501 893 65	
	2	21	46	22.255	-14	8	48.63	5.191 498 28	17	21	58	7.346	-13	19	28.89	4.488 026 71	
	3	21	46	51.989	-14	6	30.14	5.176 035 76	18	21	58	6.099	-13	19	52.51	4.474 285 95	
	4	21	47	21.156	-14	4	14.39	5.160 530 35	19	21	58	4.107	-13	20	20.08	4.460 675 86	
	5	21	47	49.751	-14	2	1.40	5.144 985 21	20	21	58	1.371	-13	20	51.62	4.447 200 99	
	6	21	48	17.772	-13	59	51.21	5.129 403 41	21	21	57	57.892	-13	21	27.11	4.433 865 98	
7	21	48	45.215	-13	57	43.85	5.113 788 00	22	21	57	53.670	-13	22	6.55	4.420 675 50		
8	21	49	12.076	-13	55	39.35	5.098 142 03	23	21	57	48.705	-13	22	49.95	4.407 634 26		
9	21	49	38.351	-13	53	37.77	5.082 468 52	24	21	57	42.996	-13	23	37.28	4.394 746 90		
10	21	50	4.034	-13	51	39.15	5.066 770 53	25	21	57	36.545	-13	24	28.54	4.382 017 97		
11	21	50	29.119	-13	49	43.54	5.051 051 14	26	21	57	29.352	-13	25	23.69	4.369 451 90		
12	21	50	53.599	-13	47	50.98	5.035 313 49	27	21	57	21.424	-13	26	22.68	4.357 052 95		
13	21	51	17.468	-13	46	1.54	5.019 560 79	28	21	57	12.765	-13	27	25.45	4.344 825 26		
14	21	51	40.719	-13	44	15.26	5.003 796 28	29	21	57	3.383	-13	28	31.97	4.332 772 80		
15	21	52	3.344	-13	42	32.19	4.988 023 30	30	21	56	53.285	-13	29	42.18	4.320 899 46		
16	21	52	25.338	-13	40	52.36	4.972 245 25	Juill.	1	21	56	42.477	-13	30	56.03	4.309 209 05	
17	21	52	46.693	-13	39	15.83	4.956 465 61		2	21	56	30.966	-13	32	13.48	4.297 705 32	

JUPITER 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 21 56 18.759	-13 33 34.50	4.286 391 98	Août	18 21 37 31.411	-15 19 6.76	4.029 043 94
	4 21 56 5.860	-13 34 59.04	4.275 272 71		19 21 37 0.846	-15 21 43.69	4.030 048 84
	5 21 55 52.276	-13 36 27.07	4.264 351 16		20 21 36 30.352	-15 24 19.66	4.031 352 57
	6 21 55 38.012	-13 37 58.54	4.253 630 97		21 21 35 59.951	-15 26 54.54	4.032 954 65
	7 21 55 23.074	-13 39 33.40	4.243 115 78		22 21 35 29.669	-15 29 28.18	4.034 854 34
	8 21 55 7.469	-13 41 11.61	4.232 809 19		23 21 34 59.534	-15 32 0.48	4.037 050 64
	9 21 54 51.202	-13 42 53.12	4.222 714 85		24 21 34 29.569	-15 34 31.29	4.039 542 31
	10 21 54 34.283	-13 44 37.87	4.212 836 38		25 21 33 59.801	-15 37 0.52	4.042 327 95
	11 21 54 16.717	-13 46 25.79	4.203 177 39		26 21 33 30.252	-15 39 28.07	4.045 405 98
	12 21 53 58.516	-13 48 16.82	4.193 741 54		27 21 33 0.945	-15 41 53.84	4.048 774 74
	13 21 53 39.688	-13 50 10.89	4.184 532 46		28 21 32 31.900	-15 44 17.75	4.052 432 43
	14 21 53 20.245	-13 52 7.93	4.175 553 80		29 21 32 3.138	-15 46 39.70	4.056 377 20
	15 21 53 0.197	-13 54 7.84	4.166 809 20		30 21 31 34.679	-15 48 59.63	4.060 607 08
	16 21 52 39.557	-13 56 10.57	4.158 302 33		31 21 31 6.542	-15 51 17.44	4.065 120 06
	17 21 52 18.338	-13 58 16.02	4.150 036 84		Sept. 1 21 30 38.745	-15 53 33.05	4.069 914 02
	18 21 51 56.553	-14 0 24.11	4.142 016 41		2 21 30 11.309	-15 55 46.39	4.074 986 80
	19 21 51 34.215	-14 2 34.77	4.134 244 68		3 21 29 44.251	-15 57 57.36	4.080 336 16
20 21 51 11.336	-14 4 47.93	4.126 725 23	4 21 29 17.591	-16 0 5.90	4.085 959 83		
21 21 50 47.929	-14 7 3.49	4.119 461 60	5 21 28 51.346	-16 2 11.93	4.091 855 47		
22 21 50 24.006	-14 9 21.37	4.112 457 15	6 21 28 25.537	-16 4 15.36	4.098 020 73		
23 21 49 59.582	-14 11 41.47	4.105 715 07	7 21 28 0.181	-16 6 16.12	4.104 453 18		
24 21 49 34.673	-14 14 3.67	4.099 238 33	8 21 27 35.297	-16 8 14.14	4.111 150 40		
25 21 49 9.298	-14 16 27.85	4.093 029 64	9 21 27 10.904	-16 10 9.35	4.118 109 90		
26 21 48 43.477	-14 18 53.88	4.087 091 50	10 21 26 47.020	-16 12 1.69	4.125 329 17		
27 21 48 17.229	-14 21 21.63	4.081 426 17	11 21 26 23.661	-16 13 51.10	4.132 805 61		
28 21 47 50.576	-14 23 51.00	4.076 035 77	12 21 26 0.843	-16 15 37.54	4.140 536 57		
29 21 47 23.537	-14 26 21.86	4.070 922 27	13 21 25 38.581	-16 17 20.94	4.148 519 31		
30 21 46 56.130	-14 28 54.12	4.066 087 53	14 21 25 16.890	-16 19 1.27	4.156 750 94		
31 21 46 28.376	-14 31 27.66	4.061 533 28	15 21 24 55.782	-16 20 38.46	4.165 228 45		
Août 1 21 46 0.291	-14 34 2.39	4.057 261 20	16 21 24 35.273	-16 22 12.47	4.173 948 65		
2 21 45 31.895	-14 36 38.19	4.053 272 84	17 21 24 15.376	-16 23 43.22	4.182 908 14		
3 21 45 3.206	-14 39 14.98	4.049 569 69	18 21 23 56.107	-16 25 10.65	4.192 103 35		
4 21 44 34.242	-14 41 52.63	4.046 153 17	19 21 23 37.482	-16 26 34.70	4.201 530 46		
5 21 44 5.022	-14 44 31.03	4.043 024 61	20 21 23 19.517	-16 27 55.31	4.211 185 50		
6 21 43 35.566	-14 47 10.09	4.040 185 27	21 21 23 2.227	-16 29 12.43	4.221 064 37		
7 21 43 5.894	-14 49 49.68	4.037 636 34	22 21 22 45.623	-16 30 26.03	4.231 162 84		
8 21 42 36.025	-14 52 29.68	4.035 378 96	23 21 22 29.717	-16 31 36.09	4.241 476 65		
9 21 42 5.982	-14 55 9.98	4.033 414 20	24 21 22 14.518	-16 32 42.58	4.252 001 48		
10 21 41 35.786	-14 57 50.46	4.031 743 07	25 21 22 0.036	-16 33 45.50	4.262 733 02		
11 21 41 5.459	-15 0 31.00	4.030 366 53	26 21 21 46.277	-16 34 44.82	4.273 666 93		
12 21 40 35.024	-15 3 11.48	4.029 285 45	27 21 21 33.248	-16 35 40.52	4.284 798 89		
13 21 40 4.503	-15 5 51.78	4.028 500 67	28 21 21 20.955	-16 36 32.60	4.296 124 58		
14 21 39 33.921	-15 8 31.79	4.028 012 93	29 21 21 9.405	-16 37 21.05	4.307 639 69		
15 21 39 3.298	-15 11 11.40	4.027 822 89	30 21 20 58.602	-16 38 5.83	4.319 339 91		
16 21 38 32.658	-15 13 50.50	4.027 931 12	Oct. 1 21 20 48.553	-16 38 46.95	4.331 220 97		
17 21 38 2.022	-15 16 28.99	4.028 338 05	2 21 20 39.263	-16 39 24.39	4.343 278 62		

JUPITER 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance			
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua			
Oct.	3 21 20	30.737	-16 39 58.13	4.355 508 64	Nov.	18 21 27	55.865	-15 59 52.23	5.029 750 23	
	4 21 20	22.979	-16 40 28.16	4.367 906 85		19 21 28	22.531	-15 57 38.33	5.045 217 62	
	5 21 20	15.996	-16 40 54.46	4.380 469 12		20 21 28	49.829	-15 55 21.24	5.060 653 55	
	6 21 20	9.792	-16 41 17.04	4.393 191 36		21 21 29	17.748	-15 53 0.99	5.076 054 11	
	7 21 20	4.372	-16 41 35.89	4.406 069 51		22 21 29	46.281	-15 50 37.61	5.091 415 48	
	8 21 19	59.737	-16 41 51.01	4.419 099 55		23 21 30	15.418	-15 48 11.13	5.106 733 92	
	9 21 19	55.892	-16 42 2.40	4.432 277 43		24 21 30	45.151	-15 45 41.56	5.122 005 77	
	10 21 19	52.837	-16 42 10.07	4.445 599 11		25 21 31	15.471	-15 43 8.93	5.137 227 46	
	11 21 19	50.572	-16 42 14.04	4.459 060 46		26 21 31	46.370	-15 40 33.26	5.152 395 54	
	12 21 19	49.099	-16 42 14.29	4.472 657 31		27 21 32	17.841	-15 37 54.57	5.167 506 61	
	13 21 19	48.417	-16 42 10.83	4.486 385 39		28 21 32	49.877	-15 35 12.87	5.182 557 39	
	14 21 19	48.528	-16 42 3.64	4.500 240 31		29 21 33	22.470	-15 32 28.20	5.197 544 70	
	15 21 19	49.432	-16 41 52.72	4.514 217 57		30 21 33	55.613	-15 29 40.55	5.212 465 46	
	16 21 19	51.134	-16 41 38.04	4.528 312 56		Déc.	1 21 34	29.300	-15 26 49.98	5.227 316 72
	17 21 19	53.634	-16 41 19.59	4.542 520 55			2 21 35	3.523	-15 23 56.49	5.242 095 58
	18 21 19	56.934	-16 40 57.38	4.556 836 75		3 21 35	38.273	-15 21 0.13	5.256 799 25	
	19 21 20	1.037	-16 40 31.41	4.571 256 31		4 21 36	13.541	-15 18 0.94	5.271 424 94	
20 21 20	5.939	-16 40 1.69	4.585 774 36	5 21 36	49.318	-15 14 58.93	5.285 969 86			
21 21 20	11.641	-16 39 28.24	4.600 386 07	6 21 37	25.594	-15 11 54.13	5.300 431 20			
22 21 20	18.137	-16 38 51.09	4.615 086 61	7 21 38	2.361	-15 8 46.56	5.314 806 04			
23 21 20	25.424	-16 38 10.25	4.629 871 23	8 21 38	39.612	-15 5 36.22	5.329 091 40			
24 21 20	33.497	-16 37 25.74	4.644 735 25	9 21 39	17.342	-15 2 23.11	5.343 284 23			
25 21 20	42.351	-16 36 37.60	4.659 674 03	10 21 39	55.546	-14 59 7.25	5.357 381 39			
26 21 20	51.981	-16 35 45.83	4.674 683 02	11 21 40	34.219	-14 55 48.65	5.371 379 74			
27 21 21	2.383	-16 34 50.46	4.689 757 73	12 21 41	13.354	-14 52 27.32	5.385 276 08			
28 21 21	13.550	-16 33 51.49	4.704 893 74	13 21 41	52.947	-14 49 3.28	5.399 067 25			
29 21 21	25.478	-16 32 48.94	4.720 086 71	14 21 42	32.988	-14 45 36.57	5.412 750 10			
30 21 21	38.163	-16 31 42.83	4.735 332 36	15 21 43	13.472	-14 42 7.22	5.426 321 51			
31 21 21	51.600	-16 30 33.17	4.750 626 51	16 21 43	54.388	-14 38 35.25	5.439 778 44			
Nov.	1 21 22	5.784	-16 29 19.97	4.765 965 07	17 21 44	35.727	-14 35 0.71	5.453 117 90		
	2 21 22	20.712	-16 28 3.25	4.781 344 05	18 21 45	17.482	-14 31 23.63	5.466 336 99		
	3 21 22	36.378	-16 26 43.02	4.796 759 52	19 21 45	59.642	-14 27 44.04	5.479 432 90		
	4 21 22	52.778	-16 25 19.31	4.812 207 67	20 21 46	42.199	-14 24 1.96	5.492 402 89		
	5 21 23	9.905	-16 23 52.15	4.827 684 70	21 21 47	25.144	-14 20 17.43	5.505 244 33		
	6 21 23	27.754	-16 22 21.55	4.843 186 89	22 21 48	8.469	-14 16 30.48	5.517 954 68		
	7 21 23	46.317	-16 20 47.56	4.858 710 46	23 21 48	52.167	-14 12 41.12	5.530 531 49		
	8 21 24	5.585	-16 19 10.18	4.874 251 64	24 21 49	36.231	-14 8 49.38	5.542 972 40		
	9 21 24	25.553	-16 17 29.43	4.889 806 56	25 21 50	20.652	-14 4 55.28	5.555 275 14		
	10 21 24	46.213	-16 15 45.33	4.905 371 30	26 21 51	5.426	-14 0 58.85	5.567 437 54		
	11 21 25	7.562	-16 13 57.86	4.920 941 86	27 21 51	50.544	-13 57 0.10	5.579 457 53		
	12 21 25	29.593	-16 12 7.04	4.936 514 15	28 21 52	36.002	-13 52 59.08	5.591 333 15		
	13 21 25	52.304	-16 10 12.87	4.952 084 03	29 21 53	21.791	-13 48 55.80	5.603 062 53		
	14 21 26	15.689	-16 8 15.35	4.967 647 31	30 21 54	7.905	-13 44 50.30	5.614 643 92		
	15 21 26	39.744	-16 6 14.50	4.983 199 77	31 21 54	54.335	-13 40 42.62	5.626 075 62		
	16 21 27	4.463	-16 4 10.35	4.998 737 20	32 21 55	41.074	-13 36 32.80	5.637 355 97		
	17 21 27	29.840	-16 2 2.91	5.014 255 40	33 21 56	28.111	-13 32 20.86	5.648 483 30		

SATURNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua	
Janv.	0	11	32	59.240	5	8	37.59	9.017 648 59	Févr.	15	11	26	55.336	5	59	24.25	8.467 370 10	
	1	11	32	59.784	5	8	52.13	9.001 916 53		16	11	26	40.145	6	1	12.17	8.460 890 49	
	2	11	32	59.915	5	9	9.28	8.986 281 86		17	11	26	24.747	6	3	1.10	8.454 699 28	
	3	11	32	59.637	5	9	29.03	8.970 749 85		18	11	26	9.152	6	4	50.98	8.448 799 10	
	4	11	32	58.951	5	9	51.36	8.955 325 72		19	11	25	53.366	6	6	41.77	8.443 192 48	
	5	11	32	57.858	5	10	16.25	8.940 014 59		20	11	25	37.399	6	8	33.40	8.437 881 82	
	6	11	32	56.363	5	10	43.67	8.924 821 47		21	11	25	21.257	6	10	25.82	8.432 869 42	
	7	11	32	54.468	5	11	13.61	8.909 751 27		22	11	25	4.949	6	12	18.98	8.428 157 42	
	8	11	32	52.175	5	11	46.04	8.894 808 80		23	11	24	48.483	6	14	12.80	8.423 747 85	
	9	11	32	49.485	5	12	20.96	8.879 998 74		24	11	24	31.870	6	16	7.22	8.419 642 56	
	10	11	32	46.398	5	12	58.35	8.865 325 68		25	11	24	15.118	6	18	2.18	8.415 843 26	
	11	11	32	42.913	5	13	38.24	8.850 794 16		26	11	23	58.237	6	19	57.61	8.412 351 48	
	12	11	32	39.028	5	14	20.61	8.836 408 73		27	11	23	41.240	6	21	53.42	8.409 168 53	
	13	11	32	34.745	5	15	5.45	8.822 173 96		28	11	23	24.136	6	23	49.55	8.406 295 54	
	14	11	32	30.065	5	15	52.75	8.808 094 53		Mars	1	11	23	6.939	6	25	45.90	8.403 733 44
	15	11	32	24.992	5	16	42.47	8.794 175 22		2	11	22	49.658	6	27	42.42	8.401 482 91	
	16	11	32	19.528	5	17	34.60	8.780 420 86		3	11	22	32.306	6	29	39.03	8.399 544 45	
	17	11	32	13.678	5	18	29.09	8.766 836 40		4	11	22	14.892	6	31	35.66	8.397 918 35	
	18	11	32	7.446	5	19	25.91	8.753 426 77		5	11	21	57.426	6	33	32.26	8.396 604 73	
19	11	32	0.835	5	20	25.05	8.740 196 97	6	11	21	39.915	6	35	28.78	8.395 603 52			
20	11	31	53.848	5	21	26.47	8.727 151 96	7	11	21	22.367	6	37	25.18	8.394 914 56			
21	11	31	46.489	5	22	30.15	8.714 296 69	8	11	21	4.790	6	39	21.39	8.394 537 57			
22	11	31	38.760	5	23	36.06	8.701 636 07	9	11	20	47.193	6	41	17.36	8.394 472 21			
23	11	31	30.664	5	24	44.18	8.689 174 98	10	11	20	29.584	6	43	13.03	8.394 718 11			
24	11	31	22.205	5	25	54.47	8.676 918 22	11	11	20	11.974	6	45	8.34	8.395 274 89			
25	11	31	13.386	5	27	6.91	8.664 870 56	12	11	19	54.375	6	47	3.21	8.396 142 18			
26	11	31	4.210	5	28	21.47	8.653 036 68	13	11	19	36.796	6	48	57.57	8.397 319 57			
27	11	30	54.683	5	29	38.10	8.641 421 16	14	11	19	19.250	6	50	51.37	8.398 806 65			
28	11	30	44.808	5	30	56.77	8.630 028 51	15	11	19	1.745	6	52	44.53	8.400 602 91			
29	11	30	34.593	5	32	17.43	8.618 863 10	16	11	18	44.291	6	54	37.00	8.402 707 81			
30	11	30	24.042	5	33	40.03	8.607 929 18	17	11	18	26.897	6	56	28.73	8.405 120 68			
31	11	30	13.164	5	35	4.52	8.597 230 86	18	11	18	9.573	6	58	19.66	8.407 840 74			
Févr.	1	11	30	1.965	5	36	30.84	8.586 772 09	19	11	17	52.326	7	0	9.74	8.410 867 10		
	2	11	29	50.454	5	37	58.94	8.576 556 68	20	11	17	35.165	7	1	58.92	8.414 198 72		
	3	11	29	38.638	5	39	28.75	8.566 588 25	21	11	17	18.099	7	3	47.14	8.417 834 44		
	4	11	29	26.525	5	41	0.23	8.556 870 25	22	11	17	1.137	7	5	34.35	8.421 772 97		
	5	11	29	14.121	5	42	33.33	8.547 405 97	23	11	16	44.288	7	7	20.48	8.426 012 87		
	6	11	29	1.432	5	44	8.01	8.538 198 56	24	11	16	27.561	7	9	5.49	8.430 552 54		
	7	11	28	48.462	5	45	44.24	8.529 251 00	25	11	16	10.966	7	10	49.30	8.435 390 23		
	8	11	28	35.217	5	47	21.97	8.520 566 21	26	11	15	54.513	7	12	31.86	8.440 524 02		
	9	11	28	21.702	5	49	1.18	8.512 147 03	27	11	15	38.213	7	14	13.10	8.445 951 80		
	10	11	28	7.921	5	50	41.81	8.503 996 31	28	11	15	22.076	7	15	52.95	8.451 671 25		
	11	11	27	53.883	5	52	23.81	8.496 116 89	29	11	15	6.114	7	17	31.36	8.457 679 89		
	12	11	27	39.597	5	54	7.11	8.488 511 66	30	11	14	50.337	7	19	8.26	8.463 974 99		
	13	11	27	25.071	5	55	51.66	8.481 183 53	31	11	14	34.752	7	20	43.61	8.470 553 69		
	14	11	27	10.315	5	57	37.40	8.474 135 39	Avril	1	11	14	19.368	7	22	17.38	8.477 412 95	

SATURNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance ua	Date	asc. droite			déclinaison			distance ua			
	h	m	s	°	'	''			h	m	s	°	'	''				
Avril	2	11	14	4.191	7	23	49.53	8.484 549 62	Mai	18	11	7	48.698	7	56	39.04	9.050 141 22	
	3	11	13	49.227	7	25	20.02	8.491 960 45		19	11	7	48.970	7	56	26.05	9.066 023 32	
	4	11	13	34.481	7	26	48.83	8.499 642 15		20	11	7	49.628	7	56	10.60	9.081 987 00	
	5	11	13	19.960	7	28	15.93	8.507 591 39		21	11	7	50.673	7	55	52.68	9.098 027 61	
	6	11	13	5.670	7	29	41.27	8.515 804 85		22	11	7	52.107	7	55	32.30	9.114 140 43	
	7	11	12	51.619	7	31	4.81	8.524 279 22		23	11	7	53.932	7	55	9.44	9.130 320 66	
	8	11	12	37.815	7	32	26.50	8.533 011 22		24	11	7	56.147	7	54	44.11	9.146 563 40	
	9	11	12	24.266	7	33	46.31	8.541 997 59		25	11	7	58.754	7	54	16.31	9.162 863 68	
	10	11	12	10.979	7	35	4.19	8.551 235 09		26	11	8	1.750	7	53	46.08	9.179 216 47	
	11	11	11	57.962	7	36	20.11	8.560 720 48		27	11	8	5.131	7	53	13.44	9.195 616 74	
	12	11	11	45.221	7	37	34.02	8.570 450 49		28	11	8	8.895	7	52	38.41	9.212 059 50	
	13	11	11	32.761	7	38	45.92	8.580 421 84		29	11	8	13.037	7	52	1.02	9.228 539 84	
	14	11	11	20.589	7	39	55.76	8.590 631 15		30	11	8	17.555	7	51	21.29	9.245 052 99	
	15	11	11	8.709	7	41	3.53	8.601 075 02		31	11	8	22.448	7	50	39.21	9.261 594 28	
	16	11	10	57.126	7	42	9.20	8.611 749 94		Juin	1	11	8	27.716	7	49	54.80	9.278 159 21
	17	11	10	45.844	7	43	12.74	8.622 652 32			2	11	8	33.358	7	49	8.06	9.294 743 35
18	11	10	34.868	7	44	14.14	8.633 778 51	3	11		8	39.372	7	48	19.00	9.311 342 44		
19	11	10	24.203	7	45	13.37	8.645 124 76	4	11		8	45.760	7	47	27.64	9.327 952 27		
20	11	10	13.855	7	46	10.40	8.656 687 23	5	11		8	52.518	7	46	33.97	9.344 568 73		
21	11	10	3.828	7	47	5.19	8.668 461 98	6	11		8	59.644	7	45	38.04	9.361 187 75		
22	11	9	54.128	7	47	57.72	8.680 444 98	7	11	9	7.137	7	44	39.85	9.377 805 33			
23	11	9	44.761	7	48	47.96	8.692 632 08	8	11	9	14.993	7	43	39.42	9.394 417 49			
24	11	9	35.734	7	49	35.86	8.705 019 00	9	11	9	23.209	7	42	36.78	9.411 020 30			
25	11	9	27.052	7	50	21.41	8.717 601 31	10	11	9	31.782	7	41	31.94	9.427 609 81			
26	11	9	18.722	7	51	4.57	8.730 374 45	11	11	9	40.709	7	40	24.93	9.444 182 11			
27	11	9	10.747	7	51	45.33	8.743 333 73	12	11	9	49.987	7	39	15.77	9.460 733 25			
28	11	9	3.132	7	52	23.68	8.756 474 36	13	11	9	59.614	7	38	4.47	9.477 259 32			
29	11	8	55.877	7	52	59.61	8.769 791 47	14	11	10	9.586	7	36	51.04	9.493 756 36			
30	11	8	48.983	7	53	33.14	8.783 280 15	15	11	10	19.903	7	35	35.49	9.510 220 41			
Mai	1	11	8	42.452	7	54	4.26	8.796 935 54	16	11	10	30.563	7	34	17.83	9.526 647 51		
	2	11	8	36.284	7	54	32.97	8.810 752 78	17	11	10	41.565	7	32	58.07	9.543 033 63		
	3	11	8	30.481	7	54	59.27	8.824 727 11	18	11	10	52.907	7	31	36.22	9.559 374 73		
	4	11	8	25.046	7	55	23.14	8.838 853 84	19	11	11	4.590	7	30	12.28	9.575 666 71		
	5	11	8	19.981	7	55	44.57	8.853 128 36	20	11	11	16.611	7	28	46.27	9.591 905 41		
	6	11	8	15.290	7	56	3.55	8.867 546 14	21	11	11	28.969	7	27	18.20	9.608 086 62		
	7	11	8	10.975	7	56	20.06	8.882 102 73	22	11	11	41.660	7	25	48.10	9.624 206 06		
	8	11	8	7.040	7	56	34.10	8.896 793 72	23	11	11	54.680	7	24	16.00	9.640 259 46		
	9	11	8	3.485	7	56	45.67	8.911 614 77	24	11	12	8.022	7	22	41.94	9.656 242 53		
	10	11	8	0.312	7	56	54.77	8.926 561 54	25	11	12	21.682	7	21	5.96	9.672 151 10		
	11	11	7	57.521	7	57	1.39	8.941 629 72	26	11	12	35.654	7	19	28.09	9.687 981 09		
	12	11	7	55.113	7	57	5.56	8.956 815 00	27	11	12	49.935	7	17	48.34	9.703 728 58		
	13	11	7	53.088	7	57	7.26	8.972 113 03	28	11	13	4.523	7	16	6.73	9.719 389 84		
	14	11	7	51.444	7	57	6.52	8.987 519 48	29	11	13	19.414	7	14	23.27	9.734 961 25		
	15	11	7	50.184	7	57	3.32	9.003 029 94	30	11	13	34.608	7	12	37.97	9.750 439 37		
	16	11	7	49.305	7	56	57.67	9.018 640 03	Juill.	1	11	13	50.102	7	10	50.86	9.765 820 84	
17	11	7	48.810	7	56	49.58	9.034 345 28	2		11	14	5.893	7	9	1.96	9.781 102 40		

SATURNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"			ua	h	m	s	°	'		"	ua
Juill.	3	11	14	21.977	7	7	11.28	9.796 280 89	Août	18	11	30	55.967	5	17	2.58	10.332 782 64
	4	11	14	38.352	7	5	18.86	9.811 353 17		19	11	31	21.731	5	14	14.66	10.339 993 78
	5	11	14	55.011	7	3	24.72	9.826 316 17		20	11	31	47.609	5	11	26.11	10.346 982 08
	6	11	15	11.952	7	1	28.89	9.841 166 87		21	11	32	13.595	5	8	36.98	10.353 745 76
	7	11	15	29.169	6	59	31.40	9.855 902 25		22	11	32	39.689	5	5	47.26	10.360 283 24
	8	11	15	46.659	6	57	32.27	9.870 519 34		23	11	33	5.886	5	2	56.99	10.366 593 08
	9	11	16	4.418	6	55	31.53	9.885 015 16		24	11	33	32.186	5	0	6.17	10.372 674 03
	10	11	16	22.441	6	53	29.19	9.899 386 76		25	11	33	58.584	4	57	14.83	10.378 524 97
	11	11	16	40.725	6	51	25.28	9.913 631 17		26	11	34	25.078	4	54	23.00	10.384 144 89
	12	11	16	59.267	6	49	19.81	9.927 745 42		27	11	34	51.662	4	51	30.69	10.389 532 86
	13	11	17	18.066	6	47	12.80	9.941 726 53		28	11	35	18.334	4	48	37.96	10.394 688 00
	14	11	17	37.118	6	45	4.26	9.955 571 50		29	11	35	45.086	4	45	44.81	10.399 609 50
	15	11	17	56.421	6	42	54.20	9.969 277 30		30	11	36	11.916	4	42	51.30	10.404 296 56
	16	11	18	15.974	6	40	42.64	9.982 840 89		31	11	36	38.818	4	39	57.44	10.408 748 44
	17	11	18	35.775	6	38	29.58	9.996 259 15		Sept. 1	11	37	5.787	4	37	3.26	10.412 964 42
	18	11	18	55.822	6	36	15.05	10.009 528 96		2	11	37	32.820	4	34	8.80	10.416 943 78
	19	11	19	16.110	6	33	59.07	10.022 647 13		3	11	37	59.912	4	31	14.08	10.420 685 84
20	11	19	36.635	6	31	41.68	10.035 610 44	4	11	38	27.060	4	28	19.11	10.424 189 93		
21	11	19	57.392	6	29	22.91	10.048 415 67	5	11	38	54.261	4	25	23.92	10.427 455 36		
22	11	20	18.374	6	27	2.80	10.061 059 64	6	11	39	21.512	4	22	28.53	10.430 481 44		
23	11	20	39.574	6	24	41.40	10.073 539 25	7	11	39	48.811	4	19	32.95	10.433 267 47		
24	11	21	0.989	6	22	18.72	10.085 851 55	8	11	40	16.156	4	16	37.19	10.435 812 72		
25	11	21	22.615	6	19	54.80	10.097 993 74	9	11	40	43.545	4	13	41.28	10.438 116 43		
26	11	21	44.449	6	17	29.63	10.109 963 20	10	11	41	10.975	4	10	45.22	10.440 177 81		
27	11	22	6.489	6	15	3.24	10.121 757 48	11	11	41	38.442	4	7	49.06	10.441 996 04		
28	11	22	28.733	6	12	35.65	10.133 374 26	12	11	42	5.942	4	4	52.81	10.443 570 31		
29	11	22	51.177	6	10	6.88	10.144 811 32	13	11	42	33.471	4	1	56.51	10.444 899 76		
30	11	23	13.818	6	7	36.95	10.156 066 55	14	11	43	1.022	3	59	0.20	10.445 983 58		
31	11	23	36.651	6	5	5.89	10.167 137 88	15	11	43	28.590	3	56	3.92	10.446 820 98		
Août 1	11	23	59.672	6	2	33.74	10.178 023 31	16	11	43	56.169	3	53	7.71	10.447 411 27		
2	11	24	22.876	6	0	0.51	10.188 720 86	17	11	44	23.755	3	50	11.59	10.447 753 83		
3	11	24	46.259	5	57	26.25	10.199 228 62	18	11	44	51.344	3	47	15.60	10.447 848 22		
4	11	25	9.816	5	54	50.97	10.209 544 68	19	11	45	18.932	3	44	19.76	10.447 694 15		
5	11	25	33.543	5	52	14.71	10.219 667 16	20	11	45	46.518	3	41	24.07	10.447 291 49		
6	11	25	57.435	5	49	37.49	10.229 594 18	21	11	46	14.100	3	38	28.56	10.446 640 30		
7	11	26	21.489	5	46	59.33	10.239 323 90	22	11	46	41.673	3	35	33.25	10.445 740 75		
8	11	26	45.701	5	44	20.25	10.248 854 44	23	11	47	9.233	3	32	38.18	10.444 593 15		
9	11	27	10.069	5	41	40.27	10.258 183 93	24	11	47	36.776	3	29	43.37	10.443 197 86		
10	11	27	34.590	5	38	59.40	10.267 310 50	25	11	48	4.296	3	26	48.87	10.441 555 34		
11	11	27	59.262	5	36	17.66	10.276 232 22	26	11	48	31.789	3	23	54.69	10.439 666 06		
12	11	28	24.083	5	33	35.05	10.284 947 18	27	11	48	59.249	3	21	0.88	10.437 530 56		
13	11	28	49.050	5	30	51.61	10.293 453 40	28	11	49	26.672	3	18	7.47	10.435 149 41		
14	11	29	14.162	5	28	7.34	10.301 748 89	29	11	49	54.053	3	15	14.48	10.432 523 18		
15	11	29	39.414	5	25	22.27	10.309 831 62	30	11	50	21.388	3	12	21.95	10.429 652 50		
16	11	30	4.803	5	22	36.43	10.317 699 53	Oct. 1	11	50	48.674	3	9	29.89	10.426 538 01		
17	11	30	30.322	5	19	49.85	10.325 350 55	2	11	51	15.906	3	6	38.34	10.423 180 35		

SATURNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance			
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua			
Oct.	3	11	51	43.083	3	3	47.30	10.419 580 19	Nov.	18	12	10	23.952	1	9	46.03	10.010 840 99	
	4	11	52	10.201	3	0	56.80	10.415 738 16		19	12	10	43.922	1	7	50.08	9.997 363 15	
	5	11	52	37.257	2	58	6.85	10.411 654 91		20	12	11	3.635	1	5	55.98	9.983 731 01	
	6	11	53	4.251	2	55	17.47	10.407 331 02		21	12	11	23.086	1	4	3.74	9.969 948 15	
	7	11	53	31.178	2	52	28.68	10.402 767 09		22	12	11	42.270	1	2	13.41	9.956 018 18	
	8	11	53	58.036	2	49	40.50	10.397 963 65		23	12	12	1.184	1	0	25.01	9.941 944 76	
	9	11	54	24.821	2	46	52.97	10.392 921 23		24	12	12	19.821	0	58	38.56	9.927 731 57	
	10	11	54	51.526	2	44	6.11	10.387 640 36		25	12	12	38.180	0	56	54.08	9.913 382 32	
	11	11	55	18.147	2	41	19.97	10.382 121 59		26	12	12	56.256	0	55	11.59	9.898 900 72	
	12	11	55	44.677	2	38	34.59	10.376 365 50		27	12	13	14.047	0	53	31.12	9.884 290 52	
	13	11	56	11.111	2	35	50.01	10.370 372 76		28	12	13	31.551	0	51	52.67	9.869 555 44	
	14	11	56	37.443	2	33	6.26	10.364 144 13		29	12	13	48.765	0	50	16.25	9.854 699 21	
	15	11	57	3.670	2	30	23.37	10.357 680 52		30	12	14	5.686	0	48	41.88	9.839 725 54	
	16	11	57	29.789	2	27	41.35	10.350 982 95		Déc.	1	12	14	22.314	0	47	9.57	9.824 638 09
	17	11	57	55.796	2	25	0.25	10.344 052 65			2	12	14	38.643	0	45	39.34	9.809 440 48
	18	11	58	21.688	2	22	20.06	10.336 890 98			3	12	14	54.670	0	44	11.21	9.794 136 30
	19	11	58	47.463	2	19	40.82	10.329 499 46			4	12	15	10.390	0	42	45.22	9.778 729 08
20	11	59	13.115	2	17	2.55	10.321 879 77	5	12		15	25.796	0	41	21.40	9.763 222 39		
21	11	59	38.641	2	14	25.29	10.314 033 68	6	12		15	40.883	0	39	59.80	9.747 619 84		
22	12	0	4.035	2	11	49.07	10.305 963 05	7	12		15	55.647	0	38	40.43	9.731 925 12		
23	12	0	29.292	2	9	13.92	10.297 669 82	8	12	16	10.083	0	37	23.33	9.716 142 04			
24	12	0	54.405	2	6	39.88	10.289 155 96	9	12	16	24.188	0	36	8.51	9.700 274 59			
25	12	1	19.371	2	4	6.99	10.280 423 51	10	12	16	37.960	0	34	55.98	9.684 326 86			
26	12	1	44.184	2	1	35.26	10.271 474 52	11	12	16	51.397	0	33	45.77	9.668 303 13			
27	12	2	8.839	1	59	4.74	10.262 311 09	12	12	17	4.496	0	32	37.87	9.652 207 81			
28	12	2	33.333	1	56	35.45	10.252 935 34	13	12	17	17.255	0	31	32.30	9.636 045 42			
29	12	2	57.662	1	54	7.41	10.243 349 41	14	12	17	29.669	0	30	29.09	9.619 820 62			
30	12	3	21.822	1	51	40.64	10.233 555 48	15	12	17	41.735	0	29	28.26	9.603 538 13			
31	12	3	45.811	1	49	15.17	10.223 555 71	16	12	17	53.449	0	28	29.82	9.587 202 77			
Nov.	1	12	4	9.626	1	46	51.00	10.213 352 27	17	12	18	4.805	0	27	33.80	9.570 819 43		
	2	12	4	33.265	1	44	28.16	10.202 947 32	18	12	18	15.801	0	26	40.23	9.554 393 02		
	3	12	4	56.724	1	42	6.66	10.192 342 96	19	12	18	26.432	0	25	49.12	9.537 928 48		
	4	12	5	20.002	1	39	46.52	10.181 541 29	20	12	18	36.694	0	25	0.49	9.521 430 80		
	5	12	5	43.092	1	37	27.77	10.170 544 37	21	12	18	46.585	0	24	14.36	9.504 904 94		
	6	12	6	5.991	1	35	10.45	10.159 354 24	22	12	18	56.102	0	23	30.73	9.488 355 90		
	7	12	6	28.692	1	32	54.59	10.147 972 95	23	12	19	5.244	0	22	49.61	9.471 788 65		
	8	12	6	51.189	1	30	40.24	10.136 402 59	24	12	19	14.010	0	22	11.02	9.455 208 16		
	9	12	7	13.476	1	28	27.43	10.124 645 32	25	12	19	22.397	0	21	34.94	9.438 619 40		
	10	12	7	35.549	1	26	16.20	10.112 703 42	26	12	19	30.405	0	21	1.39	9.422 027 28		
	11	12	7	57.402	1	24	6.57	10.100 579 29	27	12	19	38.034	0	20	30.35	9.405 436 70		
	12	12	8	19.032	1	21	58.58	10.088 275 47	28	12	19	45.282	0	20	1.84	9.388 852 51		
	13	12	8	40.437	1	19	52.23	10.075 794 66	29	12	19	52.150	0	19	35.84	9.372 279 50		
	14	12	9	1.613	1	17	47.56	10.063 139 73	30	12	19	58.635	0	19	12.37	9.355 722 38		
	15	12	9	22.557	1	15	44.57	10.050 313 68	31	12	20	4.735	0	18	51.43	9.339 185 77		
	16	12	9	43.264	1	13	43.30	10.037 319 68	32	12	20	10.446	0	18	33.05	9.322 674 27		
	17	12	10	3.731	1	11	43.78	10.024 160 98	33	12	20	15.764	0	18	17.25	9.306 192 45		

URANUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 23 21 30.484	- 4 57 50.17	20.421 561 2	Févr.	15 23 28 38.038	- 4 10 52.80	20.991 727 9
	1 23 21 36.645	- 4 57 8.50	20.437 721 8		16 23 28 49.805	- 4 9 36.24	20.998 986 8
	2 23 21 42.972	- 4 56 25.79	20.453 773 2		17 23 29 1.641	- 4 8 19.25	21.005 986 5
	3 23 21 49.464	- 4 55 42.05	20.469 710 8		18 23 29 13.543	- 4 7 1.86	21.012 725 2
	4 23 21 56.119	- 4 54 57.27	20.485 529 9		19 23 29 25.508	- 4 5 44.09	21.019 201 0
	5 23 22 2.938	- 4 54 11.47	20.501 226 1		20 23 29 37.533	- 4 4 25.96	21.025 412 0
	6 23 22 9.920	- 4 53 24.64	20.516 794 8		21 23 29 49.614	- 4 3 7.50	21.031 356 5
	7 23 22 17.064	- 4 52 36.79	20.532 232 0		22 23 30 1.747	- 4 1 48.73	21.037 032 9
	8 23 22 24.369	- 4 51 47.94	20.547 533 5		23 23 30 13.930	- 4 0 29.67	21.042 439 5
	9 23 22 31.833	- 4 50 58.09	20.562 695 3		24 23 30 26.158	- 3 59 10.34	21.047 574 8
	10 23 22 39.452	- 4 50 7.29	20.577 713 7		25 23 30 38.430	- 3 57 50.75	21.052 437 7
	11 23 22 47.220	- 4 49 15.55	20.592 584 8		26 23 30 50.742	- 3 56 30.92	21.057 026 7
	12 23 22 55.134	- 4 48 22.91	20.607 305 0		27 23 31 3.094	- 3 55 10.87	21.061 340 9
	13 23 23 3.192	- 4 47 29.37	20.621 870 5		28 23 31 15.483	- 3 53 50.59	21.065 379 3
14 23 23 11.390	- 4 46 34.95	20.636 277 4	Mars 1 23 31 27.909	- 3 52 30.11	21.069 141 2		
15 23 23 19.729	- 4 45 39.65	20.650 522 0	2 23 31 40.369	- 3 51 9.42	21.072 625 8		
16 23 23 28.209	- 4 44 43.46	20.664 600 2	3 23 31 52.861	- 3 49 48.55	21.075 832 9		
17 23 23 36.829	- 4 43 46.38	20.678 508 0	4 23 32 5.383	- 3 48 27.53	21.078 762 1		
18 23 23 45.590	- 4 42 48.42	20.692 241 5	5 23 32 17.931	- 3 47 6.36	21.081 413 2		
19 23 23 54.489	- 4 41 49.60	20.705 796 7	6 23 32 30.500	- 3 45 45.09	21.083 786 2		
20 23 24 3.526	- 4 40 49.91	20.719 169 5	7 23 32 43.086	- 3 44 23.74	21.085 881 0		
21 23 24 12.698	- 4 39 49.38	20.732 356 0	8 23 32 55.684	- 3 43 2.34	21.087 697 9		
22 23 24 22.002	- 4 38 48.03	20.745 352 4	9 23 33 8.291	- 3 41 40.91	21.089 236 9		
23 23 24 31.435	- 4 37 45.88	20.758 154 8	10 23 33 20.904	- 3 40 19.47	21.090 498 1		
24 23 24 40.994	- 4 36 42.94	20.770 759 4	11 23 33 33.523	- 3 38 58.01	21.091 481 5		
25 23 24 50.675	- 4 35 39.24	20.783 162 5	12 23 33 46.145	- 3 37 36.54	21.092 187 3		
26 23 25 0.477	- 4 34 34.80	20.795 360 6	13 23 33 58.772	- 3 36 15.06	21.092 615 3		
27 23 25 10.395	- 4 33 29.64	20.807 350 0	14 23 34 11.402	- 3 34 53.59	21.092 765 5		
28 23 25 20.427	- 4 32 23.77	20.819 127 5	15 23 34 24.033	- 3 33 32.14	21.092 637 9		
29 23 25 30.571	- 4 31 17.20	20.830 689 5	16 23 34 36.662	- 3 32 10.72	21.092 232 6		
30 23 25 40.825	- 4 30 9.95	20.842 033 1	17 23 34 49.287	- 3 30 49.35	21.091 549 4		
Févr.	31 23 25 51.186	- 4 29 2.03	20.853 155 0	18 23 35 1.905	- 3 29 28.05	21.090 588 7	
	1 23 26 1.655	- 4 27 53.44	20.864 052 5	19 23 35 14.512	- 3 28 6.86	21.089 350 4	
	2 23 26 12.229	- 4 26 44.19	20.874 722 7	20 23 35 27.104	- 3 26 45.78	21.087 834 9	
	3 23 26 22.908	- 4 25 34.30	20.885 163 0	21 23 35 39.678	- 3 25 24.85	21.086 042 5	
	4 23 26 33.690	- 4 24 23.78	20.895 371 0	22 23 35 52.230	- 3 24 4.09	21.083 973 6	
	5 23 26 44.570	- 4 23 12.65	20.905 344 4	23 23 36 4.758	- 3 22 43.51	21.081 628 8	
	6 23 26 55.547	- 4 22 0.93	20.915 081 1	24 23 36 17.259	- 3 21 23.13	21.079 008 6	
	7 23 27 6.614	- 4 20 48.66	20.924 579 0	25 23 36 29.730	- 3 20 2.96	21.076 113 7	
	8 23 27 17.768	- 4 19 35.86	20.933 836 0	26 23 36 42.170	- 3 18 43.03	21.072 945 1	
	9 23 27 29.004	- 4 18 22.56	20.942 850 4	27 23 36 54.577	- 3 17 23.33	21.069 503 6	
	10 23 27 40.318	- 4 17 8.78	20.951 620 1	28 23 37 6.950	- 3 16 3.87	21.065 790 6	
	11 23 27 51.710	- 4 15 54.53	20.960 143 2	29 23 37 19.287	- 3 14 44.68	21.061 807 1	
	12 23 28 3.179	- 4 14 39.80	20.968 417 6	30 23 37 31.587	- 3 13 25.75	21.057 554 8	
	13 23 28 14.723	- 4 13 24.60	20.976 441 3	31 23 37 43.847	- 3 12 7.10	21.053 035 2	
14 23 28 26.344	- 4 12 8.93	20.984 212 1	Avril 1 23 37 56.064	- 3 10 48.77	21.048 250 1		

URANUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Avril	2 23 38 8.233	- 3 9 30.77	21.043 2013	Mai	18 23 45 56.519	- 2 20 2.19	20.564 024 2	
	3 23 38 20.350	- 3 8 13.15	21.037 890 8		19 23 46 3.942	- 2 19 16.05	20.549 300 0	
	4 23 38 32.411	- 3 6 55.91	21.032 320 5		20 23 46 11.217	- 2 18 30.89	20.534 445 9	
	5 23 38 44.412	- 3 5 39.09	21.026 492 5		21 23 46 18.346	- 2 17 46.70	20.519 465 7	
	6 23 38 56.351	- 3 4 22.69	21.020 408 6		22 23 46 25.326	- 2 17 3.49	20.504 363 4	
	7 23 39 8.226	- 3 3 6.73	21.014 071 0		23 23 46 32.160	- 2 16 21.25	20.489 143 2	
	8 23 39 20.038	- 3 1 51.20	21.007 481 4		24 23 46 38.844	- 2 15 40.00	20.473 809 4	
	9 23 39 31.785	- 3 0 36.12	21.000 641 7		25 23 46 45.379	- 2 14 59.74	20.458 366 4	
	10 23 39 43.467	- 2 59 21.47	20.993 553 8		26 23 46 51.760	- 2 14 20.49	20.442 818 7	
	11 23 39 55.082	- 2 58 7.28	20.986 219 6		27 23 46 57.984	- 2 13 42.28	20.427 170 9	
	12 23 40 6.630	- 2 56 53.55	20.978 640 7		28 23 47 4.048	- 2 13 5.13	20.411 427 6	
	13 23 40 18.106	- 2 55 40.31	20.970 819 1		29 23 47 9.949	- 2 12 29.06	20.395 593 6	
	14 23 40 29.509	- 2 54 27.57	20.962 756 7		30 23 47 15.685	- 2 11 54.07	20.379 673 4	
	15 23 40 40.836	- 2 53 15.35	20.954 455 3		31 23 47 21.255	- 2 10 20.16	20.363 671 4	
	16 23 40 52.082	- 2 52 3.68	20.945 917 0		Juin	1 23 47 26.660	- 2 11 47.33	20.347 592 2
	17 23 41 3.245	- 2 50 52.57	20.937 143 8			2 23 47 31.902	- 2 10 15.58	20.331 440 0
18 23 41 14.322	- 2 49 42.04	20.928 137 8	3 23 47 36.980	- 2 9 44.90		20.315 219 1		
19 23 41 25.309	- 2 48 32.12	20.918 901 4	4 23 47 41.895	- 2 9 15.29		20.298 933 9		
20 23 41 36.205	- 2 47 22.82	20.909 436 6	5 23 47 46.647	- 2 8 46.74		20.282 588 4		
21 23 41 47.008	- 2 46 14.15	20.899 746 0	6 23 47 51.234	- 2 8 19.27		20.266 186 8		
22 23 41 57.715	- 2 45 6.12	20.889 832 1	7 23 47 55.657	- 2 7 52.88		20.249 733 3		
23 23 42 8.325	- 2 43 58.74	20.879 697 3	8 23 47 59.912	- 2 7 27.59		20.233 232 0		
24 23 42 18.838	- 2 42 52.02	20.869 344 5	9 23 48 3.999	- 2 7 3.40		20.216 687 0		
25 23 42 29.253	- 2 41 45.96	20.858 776 5	10 23 48 7.915	- 2 6 40.32		20.200 102 6		
26 23 42 39.568	- 2 40 40.56	20.847 996 4	11 23 48 11.660	- 2 6 18.38	20.183 483 0			
27 23 42 49.782	- 2 39 35.85	20.837 007 4	12 23 48 15.230	- 2 5 57.56	20.166 832 3			
28 23 42 59.892	- 2 38 31.85	20.825 812 7	13 23 48 18.626	- 2 5 37.89	20.150 154 9			
29 23 43 9.893	- 2 37 28.57	20.814 415 8	14 23 48 21.846	- 2 5 19.36	20.133 455 1			
30 23 43 19.783	- 2 36 26.04	20.802 820 3	15 23 48 24.891	- 2 5 1.98	20.116 737 3			
Mai	1 23 43 29.556	- 2 35 24.30	20.791 029 6	16 23 48 27.760	- 2 4 45.75	20.100 005 9		
	2 23 43 39.209	- 2 34 23.35	20.779 047 3	17 23 48 30.453	- 2 4 30.66	20.083 265 5		
	3 23 43 48.742	- 2 33 23.22	20.766 876 8	18 23 48 32.971	- 2 4 16.71	20.066 520 7		
	4 23 43 58.152	- 2 32 23.89	20.754 521 8	19 23 48 35.316	- 2 4 3.90	20.049 776 1		
	5 23 44 7.439	- 2 31 25.39	20.741 985 4	20 23 48 37.487	- 2 3 52.21	20.033 036 5		
	6 23 44 16.604	- 2 30 27.69	20.729 271 2	21 23 48 39.484	- 2 3 41.66	20.016 306 8		
	7 23 44 25.645	- 2 29 30.82	20.716 382 3	22 23 48 41.306	- 2 3 32.24	19.999 592 1		
	8 23 44 34.564	- 2 28 34.76	20.703 322 2	23 23 48 42.952	- 2 3 23.98	19.982 897 5		
	9 23 44 43.357	- 2 27 39.53	20.690 094 0	24 23 48 44.417	- 2 3 16.89	19.966 228 0		
	10 23 44 52.025	- 2 26 45.14	20.676 701 0	25 23 48 45.699	- 2 3 10.99	19.949 588 8		
	11 23 45 0.563	- 2 25 51.60	20.663 146 5	26 23 48 46.798	- 2 3 6.28	19.932 985 1		
	12 23 45 8.971	- 2 24 58.94	20.649 433 8	27 23 48 47.714	- 2 3 2.75	19.916 421 7		
	13 23 45 17.244	- 2 24 7.17	20.635 566 1	28 23 48 48.448	- 2 3 0.40	19.899 903 5		
	14 23 45 25.382	- 2 23 16.30	20.621 546 9	29 23 48 49.003	- 2 2 59.21	19.883 435 2		
	15 23 45 33.380	- 2 22 26.35	20.607 379 6	30 23 48 49.380	- 2 2 59.16	19.867 021 5		
	16 23 45 41.237	- 2 21 37.35	20.593 067 7	Juill.	1 23 48 49.581	- 2 3 0.25	19.850 666 9	
	17 23 45 48.950	- 2 20 49.29	20.578 614 7		2 23 48 49.607	- 2 3 2.46	19.834 375 7	

URANUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 23 48 49.459	- 2 3 5.80	19.818 152 6	Août	18 23 45 46.477	- 2 24 22.39	19.220 190 1
	4 23 48 49.137	- 2 3 10.26	19.802 001 7		19 23 45 39.264	- 2 25 10.40	19.211 924 4
	5 23 48 48.640	- 2 3 15.84	19.785 927 4		20 23 45 31.945	- 2 25 59.07	19.203 916 9
	6 23 48 47.969	- 2 3 22.55	19.769 934 1		21 23 45 24.522	- 2 26 48.35	19.196 170 5
	7 23 48 47.121	- 2 3 30.39	19.754 025 9		22 23 45 17.000	- 2 27 38.24	19.188 688 1
	8 23 48 46.098	- 2 3 39.36	19.738 207 3		23 23 45 9.385	- 2 28 28.68	19.181 472 4
	9 23 48 44.899	- 2 3 49.47	19.722 482 5		24 23 45 1.681	- 2 29 19.64	19.174 525 7
	10 23 48 43.524	- 2 4 0.70	19.706 855 8		25 23 44 53.893	- 2 30 11.10	19.167 850 3
	11 23 48 41.973	- 2 4 13.07	19.691 331 6		26 23 44 46.026	- 2 31 3.03	19.161 448 2
	12 23 48 40.247	- 2 4 26.55	19.675 914 1		27 23 44 38.081	- 2 31 55.40	19.155 321 5
	13 23 48 38.348	- 2 4 41.15	19.660 607 7		28 23 44 30.063	- 2 32 48.21	19.149 471 9
	14 23 48 36.278	- 2 4 56.85	19.645 417 0		29 23 44 21.973	- 2 33 41.43	19.143 901 4
	15 23 48 34.037	- 2 5 13.63	19.630 346 2		30 23 44 13.814	- 2 34 35.06	19.138 611 4
	16 23 48 31.628	- 2 5 31.49	19.615 400 0		31 23 44 5.587	- 2 35 29.07	19.133 603 7
	17 23 48 29.054	- 2 5 50.41	19.600 582 8		Sept. 1 23 43 57.296	- 2 36 23.45	19.128 879 7
	18 23 48 26.315	- 2 6 10.38	19.585 899 4		2 23 43 48.944	- 2 37 18.18	19.124 441 0
	19 23 48 23.412	- 2 6 31.40	19.571 354 4		3 23 43 40.533	- 2 38 13.24	19.120 288 9
20 23 48 20.346	- 2 6 53.46	19.556 952 5	4 23 43 32.066	- 2 39 8.61	19.116 424 9		
21 23 48 17.114	- 2 7 16.58	19.542 698 6	5 23 43 23.548	- 2 40 4.26	19.112 850 2		
22 23 48 13.717	- 2 7 40.76	19.528 597 4	6 23 43 14.982	- 2 41 0.17	19.109 566 1		
23 23 48 10.152	- 2 8 6.00	19.514 653 6	7 23 43 6.373	- 2 41 56.30	19.106 573 8		
24 23 48 6.422	- 2 8 32.29	19.500 872 0	8 23 42 57.726	- 2 42 52.63	19.103 874 7		
25 23 48 2.529	- 2 8 59.61	19.487 256 8	9 23 42 49.045	- 2 43 49.13	19.101 470 0		
26 23 47 58.476	- 2 9 27.94	19.473 812 4	10 23 42 40.335	- 2 44 45.77	19.099 360 7		
27 23 47 54.267	- 2 9 57.25	19.460 542 9	11 23 42 31.598	- 2 45 42.52	19.097 548 3		
28 23 47 49.907	- 2 10 27.52	19.447 452 4	12 23 42 22.838	- 2 46 39.38	19.096 033 7		
29 23 47 45.397	- 2 10 58.73	19.434 544 5	13 23 42 14.057	- 2 47 36.33	19.094 818 2		
30 23 47 40.739	- 2 11 30.87	19.421 823 1	14 23 42 5.257	- 2 48 33.35	19.093 902 8		
31 23 47 35.936	- 2 12 3.92	19.409 291 9	15 23 41 56.439	- 2 49 30.43	19.093 288 4		
Août 1 23 47 30.989	- 2 12 37.87	19.396 954 5	16 23 41 47.606	- 2 50 27.56	19.092 976 0		
2 23 47 25.899	- 2 13 12.73	19.384 814 4	17 23 41 38.761	- 2 51 24.70	19.092 966 2		
3 23 47 20.666	- 2 13 48.48	19.372 875 1	18 23 41 29.909	- 2 52 21.84	19.093 259 5		
4 23 47 15.292	- 2 14 25.11	19.361 140 1	19 23 41 21.056	- 2 53 18.93	19.093 856 2		
5 23 47 9.778	- 2 15 2.62	19.349 612 7	20 23 41 12.208	- 2 54 15.93	19.094 756 3		
6 23 47 4.126	- 2 15 40.99	19.338 296 5	21 23 41 3.370	- 2 55 12.80	19.095 959 6		
7 23 46 58.338	- 2 16 20.21	19.327 194 7	22 23 40 54.547	- 2 56 9.51	19.097 465 8		
8 23 46 52.416	- 2 17 0.27	19.316 310 7	23 23 40 45.744	- 2 57 6.05	19.099 274 3		
9 23 46 46.362	- 2 17 41.15	19.305 647 9	24 23 40 36.963	- 2 58 2.38	19.101 384 5		
10 23 46 40.179	- 2 18 22.82	19.295 209 6	25 23 40 28.208	- 2 58 58.50	19.103 795 5		
11 23 46 33.872	- 2 19 5.27	19.284 999 2	26 23 40 19.480	- 2 59 54.38	19.106 506 6		
12 23 46 27.444	- 2 19 48.46	19.275 019 9	27 23 40 10.784	- 3 0 50.01	19.109 516 7		
13 23 46 20.897	- 2 20 32.39	19.265 275 3	28 23 40 2.122	- 3 1 45.37	19.112 824 7		
14 23 46 14.235	- 2 21 17.02	19.255 768 6	29 23 39 53.496	- 3 2 40.44	19.116 429 6		
15 23 46 7.461	- 2 22 2.35	19.246 503 4	30 23 39 44.910	- 3 3 35.20	19.120 330 1		
16 23 46 0.576	- 2 22 48.36	19.237 482 9	Oct. 1 23 39 36.368	- 3 4 29.63	19.124 525 0		
17 23 45 53.581	- 2 23 35.04	19.228 710 7	2 23 39 27.872	- 3 5 23.70	19.129 013 0		

URANUS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Oct.	3 23 39 19.429	- 3 6 17.38	19.133 792 7	Nov.	18 23 34 43.825	- 3 34 32.23	19.629 315 5
	4 23 39 11.041	- 3 7 10.65	19.138 862 7		19 23 34 41.294	- 3 34 46.03	19.644 811 4
	5 23 39 2.714	- 3 8 3.47	19.144 221 5		20 23 34 38.942	- 3 34 58.65	19.660 439 9
	6 23 38 54.452	- 3 8 55.82	19.149 867 8		21 23 34 36.770	- 3 35 10.09	19.676 195 8
	7 23 38 46.260	- 3 9 47.68	19.155 800 0		22 23 34 34.778	- 3 35 20.37	19.692 074 0
	8 23 38 38.141	- 3 10 39.01	19.162 016 8		23 23 34 32.966	- 3 35 29.46	19.708 069 0
	9 23 38 30.097	- 3 11 29.81	19.168 516 6		24 23 34 31.337	- 3 35 37.38	19.724 175 7
	10 23 38 22.132	- 3 12 20.06	19.175 297 8		25 23 34 29.889	- 3 35 44.11	19.740 388 9
	11 23 38 14.246	- 3 13 9.75	19.182 358 9		26 23 34 28.625	- 3 35 49.64	19.756 703 4
	12 23 38 6.442	- 3 13 58.87	19.189 698 2		27 23 34 27.545	- 3 35 53.97	19.773 113 8
	13 23 37 58.720	- 3 14 47.40	19.197 313 8		28 23 34 26.652	- 3 35 57.09	19.789 615 2
	14 23 37 51.085	- 3 15 35.33	19.205 203 8		29 23 34 25.947	- 3 35 58.99	19.806 202 3
15 23 37 43.540	- 3 16 22.63	19.213 366 0	30 23 34 25.432	- 3 35 59.65	19.822 870 2		
16 23 37 36.090	- 3 17 9.26	19.221 798 0	Déc.	1 23 34 25.108	- 3 35 59.08	19.839 613 8	
17 23 37 28.741	- 3 17 55.20	19.230 497 4		2 23 34 24.976	- 3 35 57.27	19.856 428 2	
18 23 37 21.496	- 3 18 40.41	19.239 461 4		3 23 34 25.035	- 3 35 54.22	19.873 308 7	
19 23 37 14.362	- 3 19 24.86	19.248 687 0		4 23 34 25.283	- 3 35 49.96	19.890 250 3	
20 23 37 7.342	- 3 20 8.53	19.258 171 1		5 23 34 25.719	- 3 35 44.49	19.907 248 4	
21 23 37 0.438	- 3 20 51.40	19.267 910 5		6 23 34 26.340	- 3 35 37.82	19.924 298 0	
22 23 36 53.653	- 3 21 33.46	19.277 901 7		7 23 34 27.147	- 3 35 29.96	19.941 394 5	
23 23 36 46.990	- 3 22 14.70	19.288 141 4	8 23 34 28.138	- 3 35 20.90	19.958 532 6		
24 23 36 40.449	- 3 22 55.11	19.298 626 1	9 23 34 29.317	- 3 35 10.63	19.975 707 4		
25 23 36 34.032	- 3 23 34.68	19.309 352 1	10 23 34 30.683	- 3 34 59.14	19.992 913 7		
26 23 36 27.743	- 3 24 13.39	19.320 315 8	11 23 34 32.241	- 3 34 46.42	20.010 146 0		
27 23 36 21.582	- 3 24 51.23	19.331 513 5	12 23 34 33.990	- 3 34 32.47	20.027 399 1		
28 23 36 15.553	- 3 25 28.19	19.342 941 5	13 23 34 35.931	- 3 34 17.27	20.044 667 4		
29 23 36 9.658	- 3 26 4.24	19.354 596 0	14 23 34 38.066	- 3 34 0.83	20.061 945 4		
30 23 36 3.900	- 3 26 39.38	19.366 473 2	15 23 34 40.392	- 3 33 43.15	20.079 227 5		
31 23 35 58.283	- 3 27 13.57	19.378 569 4	16 23 34 42.909	- 3 33 24.25	20.096 508 2		
Nov.	1 23 35 52.809	- 3 27 46.80	19.390 880 6	17 23 34 45.615	- 3 33 4.14	20.113 781 9	
	2 23 35 47.483	- 3 28 19.04	19.403 403 1	18 23 34 48.509	- 3 32 42.83	20.131 043 0	
	3 23 35 42.308	- 3 28 50.28	19.416 133 2	19 23 34 51.589	- 3 32 20.33	20.148 286 1	
	4 23 35 37.286	- 3 29 20.50	19.429 066 9	20 23 34 54.854	- 3 31 56.64	20.165 505 5	
	5 23 35 32.419	- 3 29 49.69	19.442 200 7	21 23 34 58.303	- 3 31 31.78	20.182 696 1	
	6 23 35 27.709	- 3 30 17.85	19.455 530 7	22 23 35 1.934	- 3 31 5.75	20.199 852 3	
	7 23 35 23.154	- 3 30 44.98	19.469 053 1	23 23 35 5.747	- 3 30 38.55	20.216 968 9	
	8 23 35 18.756	- 3 31 11.07	19.482 764 2	24 23 35 9.743	- 3 30 10.19	20.234 040 7	
	9 23 35 14.515	- 3 31 36.13	19.496 659 9	25 23 35 13.920	- 3 29 40.67	20.251 062 5	
	10 23 35 10.433	- 3 32 0.14	19.510 736 3	26 23 35 18.278	- 3 29 9.98	20.268 029 3	
	11 23 35 6.511	- 3 32 23.09	19.524 989 1	27 23 35 22.819	- 3 28 38.14	20.284 936 1	
12 23 35 2.752	- 3 32 44.95	19.539 414 1	28 23 35 27.541	- 3 28 5.14	20.301 778 1		
13 23 34 59.161	- 3 33 5.71	19.554 006 6	29 23 35 32.444	- 3 27 30.98	20.318 550 5		
14 23 34 55.742	- 3 33 25.33	19.568 762 1	30 23 35 37.526	- 3 26 55.69	20.335 248 8		
15 23 34 52.496	- 3 33 43.81	19.583 675 7	31 23 35 42.784	- 3 26 19.27	20.351 868 4		
16 23 34 49.427	- 3 34 1.12	19.598 742 5	32 23 35 48.216	- 3 25 41.76	20.368 404 9		
17 23 34 46.537	- 3 34 17.26	19.613 957 5	33 23 35 53.818	- 3 25 3.17	20.384 853 9		

NEPTUNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 21 39 30.615	-14 22 46.79	30.748 996 9	Févr.	15 21 45 51.672	-13 50 58.06	31.019 661 9
	1 21 39 37.646	-14 22 11.82	30.760 647 7		16 21 46 0.544	-13 50 13.31	31.018 970 5
	2 21 39 44.758	-14 21 36.43	30.772 076 9		17 21 46 9.413	-13 49 28.57	31.017 989 9
	3 21 39 51.950	-14 21 0.62	30.783 281 2		18 21 46 18.275	-13 48 43.86	31.016 720 2
	4 21 39 59.220	-14 20 24.40	30.794 257 4		19 21 46 27.127	-13 47 59.19	31.015 161 6
	5 21 40 6.570	-14 19 47.76	30.805 002 6		20 21 46 35.966	-13 47 14.59	31.013 314 5
	6 21 40 13.997	-14 19 10.71	30.815 514 1		21 21 46 44.790	-13 46 30.07	31.011 179 3
	7 21 40 21.503	-14 18 33.26	30.825 789 2		22 21 46 53.595	-13 45 45.65	31.008 756 6
	8 21 40 29.085	-14 17 55.42	30.835 825 3		23 21 47 2.378	-13 45 1.32	31.006 047 0
	9 21 40 36.742	-14 17 17.22	30.845 620 2		24 21 47 11.137	-13 44 17.11	31.003 051 4
	10 21 40 44.469	-14 16 38.67	30.855 171 4		25 21 47 19.870	-13 43 33.03	30.999 770 7
	11 21 40 52.263	-14 15 59.81	30.864 476 8		26 21 47 28.575	-13 42 49.06	30.996 206 0
	12 21 41 0.117	-14 15 20.64	30.873 533 9		27 21 47 37.250	-13 42 5.23	30.992 358 6
	13 21 41 8.030	-14 14 41.18	30.882 340 6		28 21 47 45.896	-13 41 21.52	30.988 229 9
	14 21 41 16.000	-14 14 1.42	30.890 894 3		Mars 1 21 47 54.512	-13 40 37.95	30.983 821 4
	15 21 41 24.025	-14 13 21.35	30.899 192 7		2 21 48 3.096	-13 39 54.52	30.979 134 9
	16 21 41 32.107	-14 12 40.97	30.907 233 2		3 21 48 11.648	-13 39 11.24	30.974 172 1
	17 21 41 40.246	-14 12 0.29	30.915 013 4		4 21 48 20.166	-13 38 28.15	30.968 935 1
	18 21 41 48.439	-14 11 19.30	30.922 530 8		5 21 48 28.647	-13 37 45.24	30.963 425 8
19 21 41 56.688	-14 10 38.02	30.929 783 1	6 21 48 37.088	-13 37 2.56	30.957 646 5		
20 21 42 4.990	-14 9 56.47	30.936 767 9	7 21 48 45.483	-13 36 20.12	30.951 599 2		
21 21 42 13.342	-14 9 14.65	30.943 483 1	8 21 48 53.831	-13 35 37.92	30.945 286 1		
22 21 42 21.743	-14 8 32.58	30.949 926 5	9 21 49 2.126	-13 34 55.99	30.938 709 3		
23 21 42 30.190	-14 7 50.28	30.956 096 0	10 21 49 10.369	-13 34 14.32	30.931 870 8		
24 21 42 38.679	-14 7 7.77	30.961 989 8	11 21 49 18.558	-13 33 32.90	30.924 772 8		
25 21 42 47.207	-14 6 25.06	30.967 606 1	12 21 49 26.694	-13 32 51.73	30.917 417 1		
26 21 42 55.772	-14 5 42.16	30.972 943 2	13 21 49 34.777	-13 32 10.82	30.909 805 8		
27 21 43 4.370	-14 4 59.09	30.977 999 5	14 21 49 42.806	-13 31 30.16	30.901 940 8		
28 21 43 12.999	-14 4 15.84	30.982 773 6	15 21 49 50.780	-13 30 49.78	30.893 824 2		
29 21 43 21.657	-14 3 32.44	30.987 264 2	16 21 49 58.699	-13 30 9.67	30.885 457 9		
30 21 43 30.342	-14 2 48.87	30.991 470 3	17 21 50 6.560	-13 29 29.87	30.876 844 2		
31 21 43 39.054	-14 2 5.14	30.995 390 8	18 21 50 14.360	-13 28 50.38	30.867 985 3		
Févr. 1 21 43 47.791	-14 1 21.27	30.999 025 0	19 21 50 22.096	-13 28 11.23	30.858 883 4		
2 21 43 56.553	-14 0 37.24	31.002 372 2	20 21 50 29.767	-13 27 32.42	30.849 541 1		
3 21 44 5.339	-13 59 53.07	31.005 431 9	21 21 50 37.369	-13 26 53.97	30.839 960 9		
4 21 44 14.147	-13 59 8.78	31.008 203 7	22 21 50 44.899	-13 26 15.90	30.830 145 3		
5 21 44 22.976	-13 58 24.39	31.010 687 5	23 21 50 52.356	-13 25 38.20	30.820 097 1		
6 21 44 31.823	-13 57 39.91	31.012 883 0	24 21 50 59.737	-13 25 0.89	30.809 819 1		
7 21 44 40.682	-13 56 55.37	31.014 790 3	25 21 51 7.042	-13 24 23.97	30.799 314 4		
8 21 44 49.550	-13 56 10.80	31.016 409 3	26 21 51 14.268	-13 23 47.44	30.788 585 9		
9 21 44 58.422	-13 55 26.20	31.017 739 9	27 21 51 21.415	-13 23 11.30	30.777 637 0		
10 21 45 7.297	-13 54 41.58	31.018 782 2	28 21 51 28.485	-13 22 35.55	30.766 471 0		
11 21 45 16.171	-13 53 56.93	31.019 535 9	29 21 51 35.476	-13 22 0.20	30.755 091 5		
12 21 45 25.046	-13 53 12.26	31.020 000 9	30 21 51 42.387	-13 21 25.26	30.743 502 0		
13 21 45 33.921	-13 52 27.55	31.020 177 0	31 21 51 49.218	-13 20 50.74	30.731 706 4		
14 21 45 42.797	-13 51 42.81	31.020 064 1	Avril 1 21 51 55.967	-13 20 16.66	30.719 708 4		

NEPTUNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Avril	2	21 52 2.629	-13 19 43.05	30.707 511 9	Mai	18	21 55 14.793	-13 3 57.00	30.000 151 5
	3	21 52 9.201	-13 19 9.92	30.695 120 8		19	21 55 16.176	-13 3 51.21	29.983 227 4
	4	21 52 15.681	-13 18 37.28	30.682 538 9		20	21 55 17.431	-13 3 46.09	29.966 310 4
	5	21 52 22.066	-13 18 5.14	30.669 770 0		21	21 55 18.560	-13 3 41.62	29.949 405 4
	6	21 52 28.354	-13 17 33.51	30.656 817 9		22	21 55 19.563	-13 3 37.81	29.932 517 4
	7	21 52 34.544	-13 17 2.37	30.643 686 3		23	21 55 20.442	-13 3 34.64	29.915 651 4
	8	21 52 40.638	-13 16 31.72	30.630 378 7		24	21 55 21.199	-13 3 32.13	29.898 812 6
	9	21 52 46.636	-13 16 1.55	30.616 898 9		25	21 55 21.833	-13 3 30.28	29.882 006 2
	10	21 52 52.538	-13 15 31.87	30.603 250 2		26	21 55 22.342	-13 3 29.09	29.865 237 5
	11	21 52 58.345	-13 15 2.69	30.589 436 4		27	21 55 22.725	-13 3 28.60	29.848 511 6
	12	21 53 4.055	-13 14 34.01	30.575 461 0		28	21 55 22.980	-13 3 28.80	29.831 833 6
13	21 53 9.666	-13 14 5.85	30.561 327 6	29	21 55 23.104	-13 3 29.70	29.815 208 7		
14	21 53 15.178	-13 13 38.22	30.547 039 8	30	21 55 23.097	-13 3 31.29	29.798 641 5		
15	21 53 20.589	-13 13 11.13	30.532 601 5	31	21 55 22.961	-13 3 33.56	29.782 136 9		
16	21 53 25.894	-13 12 44.60	30.518 016 4	Juin	1	21 55 22.697	-13 3 36.49	29.765 699 6	
17	21 53 31.094	-13 12 18.64	30.503 288 4		2	21 55 22.308	-13 3 40.06	29.749 333 9	
18	21 53 36.185	-13 11 53.26	30.488 421 4		3	21 55 21.795	-13 3 44.27	29.733 044 4	
19	21 53 41.166	-13 11 28.45	30.473 419 6		4	21 55 21.161	-13 3 49.12	29.716 835 4	
20	21 53 46.036	-13 11 4.24	30.458 287 0		5	21 55 20.406	-13 3 54.59	29.700 711 2	
21	21 53 50.793	-13 10 40.61	30.443 027 8		6	21 55 19.531	-13 4 0.70	29.684 676 1	
22	21 53 55.437	-13 10 17.57	30.427 646 4		7	21 55 18.536	-13 4 7.44	29.668 734 3	
23	21 53 59.968	-13 9 55.11	30.412 147 1		8	21 55 17.422	-13 4 14.82	29.652 890 1	
24	21 54 4.386	-13 9 33.23	30.396 534 6		9	21 55 16.188	-13 4 22.84	29.637 147 7	
25	21 54 8.692	-13 9 11.93	30.380 813 4		10	21 55 14.832	-13 4 31.51	29.621 511 4	
26	21 54 12.887	-13 8 51.21	30.364 988 3		11	21 55 13.356	-13 4 40.82	29.605 985 4	
27	21 54 16.971	-13 8 31.09	30.349 064 3	12	21 55 11.758	-13 4 50.77	29.590 574 1		
28	21 54 20.940	-13 8 11.58	30.333 046 1	13	21 55 10.038	-13 5 1.36	29.575 281 6		
29	21 54 24.794	-13 7 52.70	30.316 938 8	14	21 55 8.198	-13 5 12.59	29.560 112 4		
30	21 54 28.529	-13 7 34.46	30.300 747 3	15	21 55 6.239	-13 5 24.43	29.545 070 8		
Mai	1	21 54 32.143	-13 7 16.89	30.284 476 4	16	21 55 4.161	-13 5 36.88	29.530 161 2	
	2	21 54 35.633	-13 6 59.97	30.268 131 0	17	21 55 1.967	-13 5 49.92	29.515 388 0	
	3	21 54 38.999	-13 6 43.70	30.251 715 8	18	21 54 59.659	-13 6 3.55	29.500 755 6	
	4	21 54 42.241	-13 6 28.08	30.235 235 4	19	21 54 57.239	-13 6 17.76	29.486 268 5	
	5	21 54 45.359	-13 6 13.10	30.218 694 3	20	21 54 54.709	-13 6 32.53	29.471 931 4	
	6	21 54 48.356	-13 5 58.75	30.202 097 1	21	21 54 52.071	-13 6 47.87	29.457 748 7	
	7	21 54 51.231	-13 5 45.03	30.185 448 1	22	21 54 49.326	-13 7 3.79	29.443 725 0	
	8	21 54 53.987	-13 5 31.94	30.168 751 7	23	21 54 46.472	-13 7 20.29	29.429 865 0	
	9	21 54 56.623	-13 5 19.47	30.152 012 3	24	21 54 43.508	-13 7 37.37	29.416 173 1	
	10	21 54 59.139	-13 5 7.65	30.135 234 2	25	21 54 40.432	-13 7 55.05	29.402 653 7	
	11	21 55 1.533	-13 4 56.47	30.118 421 9	26	21 54 37.245	-13 8 13.31	29.389 311 0	
12	21 55 3.805	-13 4 45.95	30.101 579 7	27	21 54 33.949	-13 8 32.14	29.376 148 9		
13	21 55 5.953	-13 4 36.10	30.084 712 1	28	21 54 30.545	-13 8 51.50	29.363 171 3		
14	21 55 7.976	-13 4 26.92	30.067 823 5	29	21 54 27.037	-13 9 11.38	29.350 381 9		
15	21 55 9.872	-13 4 18.42	30.050 918 6	30	21 54 23.429	-13 9 31.76	29.337 784 2		
16	21 55 11.641	-13 4 10.60	30.034 001 8	Juill.	1	21 54 19.723	-13 9 52.64	29.325 381 7	
17	21 55 13.281	-13 4 3.46	30.017 077 9		2	21 54 15.922	-13 10 14.00	29.313 177 7	

NEPTUNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Juill.	3 21 54 12.027	-13 10 35.84	29.301 175 5	Août	18 21 49 58.849	-13 33 28.53	29.015 930 2
	4 21 54 8.040	-13 10 58.15	29.289 378 4		19 21 49 52.518	-13 34 2.14	29.016 281 1
	5 21 54 3.961	-13 11 20.95	29.277 789 4		20 21 49 46.185	-13 34 35.74	29.016 928 8
	6 21 53 59.791	-13 11 44.21	29.266 411 9		21 21 49 39.850	-13 35 9.30	29.017 873 4
	7 21 53 55.531	-13 12 7.95	29.255 249 0		22 21 49 33.519	-13 35 42.81	29.019 114 8
	8 21 53 51.180	-13 12 32.16	29.244 303 6		23 21 49 27.195	-13 36 16.23	29.020 652 4
	9 21 53 46.740	-13 12 56.82	29.233 579 1		24 21 49 20.884	-13 36 49.53	29.022 485 9
	10 21 53 42.212	-13 13 21.94	29.223 078 3		25 21 49 14.590	-13 37 22.72	29.024 614 3
	11 21 53 37.596	-13 13 47.49	29.212 804 5		26 21 49 8.315	-13 37 55.77	29.027 036 8
	12 21 53 32.896	-13 14 13.47	29.202 760 7		27 21 49 2.062	-13 38 28.67	29.029 752 6
	13 21 53 28.113	-13 14 39.86	29.192 949 9		28 21 48 55.834	-13 39 1.44	29.032 760 6
	14 21 53 23.249	-13 15 6.64	29.183 375 3		29 21 48 49.630	-13 39 34.05	29.036 059 6
	15 21 53 18.308	-13 15 33.80	29.174 039 9		30 21 48 43.454	-13 40 6.51	29.039 648 7
	16 21 53 13.293	-13 16 1.32	29.164 946 8		31 21 48 37.305	-13 40 38.81	29.043 526 6
	17 21 53 8.207	-13 16 29.18	29.156 099 0		Sept. 1 21 48 31.185	-13 41 10.93	29.047 692 0
	18 21 53 3.052	-13 16 57.39	29.147 499 7		2 21 48 25.097	-13 41 42.87	29.052 143 7
	19 21 52 57.830	-13 17 25.94	29.139 151 9		3 21 48 19.042	-13 42 14.61	29.056 880 5
20 21 52 52.543	-13 17 54.83	29.131 058 7	4 21 48 13.021	-13 42 46.14	29.061 900 8		
21 21 52 47.189	-13 18 24.06	29.123 223 0	5 21 48 7.039	-13 43 17.45	29.067 203 5		
22 21 52 41.769	-13 18 53.64	29.115 647 6	6 21 48 1.097	-13 43 48.50	29.072 787 0		
23 21 52 36.281	-13 19 23.55	29.108 335 2	7 21 47 55.200	-13 44 19.29	29.078 650 0		
24 21 52 30.729	-13 19 53.78	29.101 288 3	8 21 47 49.350	-13 44 49.79	29.084 791 0		
25 21 52 25.114	-13 20 24.30	29.094 509 1	9 21 47 43.552	-13 45 20.00	29.091 208 6		
26 21 52 19.441	-13 20 55.09	29.087 999 6	10 21 47 37.807	-13 45 49.90	29.097 901 3		
27 21 52 13.714	-13 21 26.12	29.081 761 7	11 21 47 32.120	-13 46 19.48	29.104 867 5		
28 21 52 7.938	-13 21 57.37	29.075 797 0	12 21 47 26.491	-13 46 48.75	29.112 105 7		
29 21 52 2.115	-13 22 28.83	29.070 107 1	13 21 47 20.922	-13 47 17.71	29.119 614 3		
30 21 51 56.248	-13 23 0.49	29.064 693 5	14 21 47 15.412	-13 47 46.35	29.127 391 3		
31 21 51 50.339	-13 23 32.36	29.059 557 7	15 21 47 9.962	-13 48 14.68	29.135 435 0		
Août 1 21 51 44.390	-13 24 4.41	29.054 700 9	16 21 47 4.573	-13 48 42.67	29.143 743 2		
2 21 51 38.402	-13 24 36.65	29.050 124 5	17 21 46 59.247	-13 49 10.31	29.152 313 7		
3 21 51 32.376	-13 25 9.08	29.045 829 6	18 21 46 53.986	-13 49 37.59	29.161 144 0		
4 21 51 26.313	-13 25 41.68	29.041 817 6	19 21 46 48.794	-13 50 4.46	29.170 231 3		
5 21 51 20.215	-13 26 14.44	29.038 089 4	20 21 46 43.675	-13 50 30.92	29.179 572 9		
6 21 51 14.084	-13 26 47.36	29.034 646 3	21 21 46 38.635	-13 50 56.94	29.189 165 6		
7 21 51 7.920	-13 27 20.42	29.031 489 3	22 21 46 33.676	-13 51 22.52	29.199 006 3		
8 21 51 1.727	-13 27 53.60	29.028 619 4	23 21 46 28.800	-13 51 47.65	29.209 091 7		
9 21 50 55.507	-13 28 26.88	29.026 037 8	24 21 46 24.009	-13 52 12.33	29.219 418 4		
10 21 50 49.264	-13 29 0.25	29.023 745 4	25 21 46 19.303	-13 52 36.56	29.229 983 1		
11 21 50 43.000	-13 29 33.68	29.021 743 1	26 21 46 14.684	-13 53 0.33	29.240 782 4		
12 21 50 36.720	-13 30 7.16	29.020 032 0	27 21 46 10.152	-13 53 23.65	29.251 812 7		
13 21 50 30.426	-13 30 40.68	29.018 613 1	28 21 46 5.708	-13 53 46.51	29.263 070 6		
14 21 50 24.123	-13 31 14.22	29.017 487 1	29 21 46 1.354	-13 54 8.90	29.274 552 7		
15 21 50 17.812	-13 31 47.78	29.016 655 1	30 21 45 57.089	-13 54 30.81	29.286 255 2		
16 21 50 11.496	-13 32 21.35	29.016 117 8	Oct. 1 21 45 52.917	-13 54 52.23	29.298 174 8		
17 21 50 5.175	-13 32 54.93	29.015 875 9	2 21 45 48.838	-13 55 13.14	29.310 307 8		

NEPTUNE 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON APPARENTES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur vrais de la date.

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Oct.	3 21 45 44.856	-13 55 33.54	29.322 650 7	Nov.	18 21 44 48.850	-14 0 11.68	30.044 655 1	
	4 21 45 40.972	-13 55 53.40	29.335 199 9		19 21 44 50.675	-14 0 2.11	30.061 904 4	
	5 21 45 37.190	-13 56 12.72	29.347 951 8		20 21 44 52.633	-13 59 51.87	30.079 137 1	
	6 21 45 33.512	-13 56 31.48	29.360 902 9		21 21 44 54.724	-13 59 40.98	30.096 347 8	
	7 21 45 29.941	-13 56 49.67	29.374 049 7		22 21 44 56.945	-13 59 29.42	30.113 531 1	
	8 21 45 26.479	-13 57 7.30	29.387 388 5		23 21 44 59.295	-13 59 17.21	30.130 681 7	
	9 21 45 23.127	-13 57 24.36	29.400 915 8		24 21 45 1.774	-13 59 4.35	30.147 794 3	
	10 21 45 19.884	-13 57 40.86	29.414 627 9		25 21 45 4.381	-13 58 50.82	30.164 863 7	
	11 21 45 16.752	-13 57 56.81	29.428 521 1		26 21 45 7.116	-13 58 36.64	30.181 884 8	
	12 21 45 13.729	-13 58 12.19	29.442 591 5		27 21 45 9.980	-13 58 21.80	30.198 852 4	
	13 21 45 10.814	-13 58 27.02	29.456 835 1		28 21 45 12.971	-13 58 6.29	30.215 761 7	
	14 21 45 8.010	-13 58 41.27	29.471 247 8		29 21 45 16.092	-13 57 50.10	30.232 607 8	
	15 21 45 5.317	-13 58 54.94	29.485 825 2		30 21 45 19.343	-13 57 33.25	30.249 385 9	
	16 21 45 2.738	-13 59 7.99	29.500 563 0		Déc.	1 21 45 22.723	-13 57 15.74	30.266 091 2
	17 21 45 0.277	-13 59 20.42	29.515 456 4			2 21 45 26.233	-13 56 57.57	30.282 719 2
	18 21 44 57.936	-13 59 32.20	29.530 500 7		3 21 45 29.872	-13 56 38.76	30.299 265 3	
	19 21 44 55.719	-13 59 43.34	29.545 691 0		4 21 45 33.635	-13 56 19.33	30.315 725 0	
20 21 44 53.626	-13 59 53.83	29.561 022 3	5 21 45 37.521	-13 55 59.29	30.332 093 7			
21 21 44 51.659	-14 0 3.67	29.576 489 7	6 21 45 41.526	-13 55 38.66	30.348 367 0			
22 21 44 49.818	-14 0 12.88	29.592 088 0	7 21 45 45.649	-13 55 17.43	30.364 540 1			
23 21 44 48.103	-14 0 21.44	29.607 812 2	8 21 45 49.887	-13 54 55.59	30.380 608 3			
24 21 44 46.513	-14 0 29.37	29.623 657 3	9 21 45 54.243	-13 54 33.15	30.396 566 7			
25 21 44 45.048	-14 0 36.66	29.639 618 3	10 21 45 58.716	-13 54 10.09	30.412 410 5			
26 21 44 43.708	-14 0 43.32	29.655 690 1	11 21 46 3.308	-13 53 46.41	30.428 134 7			
27 21 44 42.494	-14 0 49.34	29.671 867 7	12 21 46 8.019	-13 53 22.10	30.443 734 4			
28 21 44 41.404	-14 0 54.71	29.688 146 2	13 21 46 12.849	-13 52 57.18	30.459 204 5			
29 21 44 40.441	-14 0 59.42	29.704 520 5	14 21 46 17.797	-13 52 31.66	30.474 540 2			
30 21 44 39.606	-14 1 3.48	29.720 985 8	15 21 46 22.862	-13 52 5.54	30.489 736 5			
31 21 44 38.899	-14 1 6.86	29.737 537 1	16 21 46 28.041	-13 51 38.85	30.504 788 6			
Nov. 1 21 44 38.322	-14 1 9.56	29.754 169 6	17 21 46 33.332	-13 51 11.59	30.519 691 7			
2 21 44 37.878	-14 1 11.57	29.770 878 5	18 21 46 38.733	-13 50 43.78	30.534 441 2			
3 21 44 37.567	-14 1 12.89	29.787 659 1	19 21 46 44.241	-13 50 15.43	30.549 032 6			
4 21 44 37.392	-14 1 13.52	29.804 506 5	20 21 46 49.855	-13 49 46.54	30.563 461 2			
5 21 44 37.352	-14 1 13.47	29.821 416 2	21 21 46 55.571	-13 49 17.13	30.577 722 9			
6 21 44 37.446	-14 1 12.75	29.838 383 4	22 21 47 1.389	-13 48 47.19	30.591 813 2			
7 21 44 37.673	-14 1 11.36	29.855 403 4	23 21 47 7.308	-13 48 16.72	30.605 728 2			
8 21 44 38.030	-14 1 9.32	29.872 471 4	24 21 47 13.326	-13 47 45.74	30.619 463 7			
9 21 44 38.517	-14 1 6.63	29.889 582 4	25 21 47 19.443	-13 47 14.23	30.633 015 9			
10 21 44 39.134	-14 1 3.28	29.906 731 4	26 21 47 25.659	-13 46 42.20	30.646 380 9			
11 21 44 39.879	-14 0 59.27	29.923 913 4	27 21 47 31.974	-13 46 9.65	30.659 555 1			
12 21 44 40.756	-14 0 54.57	29.941 123 0	28 21 47 38.386	-13 45 36.60	30.672 534 9			
13 21 44 41.765	-14 0 49.17	29.958 354 8	29 21 47 44.895	-13 45 3.05	30.685 317 0			
14 21 44 42.909	-14 0 43.08	29.975 603 5	30 21 47 51.499	-13 44 29.01	30.697 898 0			
15 21 44 44.189	-14 0 36.27	29.992 863 4	31 21 47 58.196	-13 43 54.51	30.710 274 7			
16 21 44 45.606	-14 0 28.77	30.010 129 1	32 21 48 4.981	-13 43 19.57	30.722 444 0			
17 21 44 47.159	-14 0 20.57	30.027 394 8	33 21 48 11.851	-13 42 44.20	30.734 402 8			

PLUTON ET ASTÉROÏDES

Coordonnées géocentriques :
Ascension droite et déclinaison astrométriques, distance à la Terre.

PLUTON	II. 92
CÉRÈS	II. 93
PALLAS	II. 94
JUNON	II. 95
VESTA	II. 96

PLUTON 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	asc. droite			déclinaison			distance	Date	asc. droite			déclinaison			distance		
	h	m	s	°	'	"	ua		h	m	s	°	'	"	ua		
Janv.	0	18	4	34.897	-17	44	26.60	32.543 161 62	Juill.	3	18	6	39.957	-17	41	13.67	30.670 836 70
	4	18	5	11.095	-17	44	37.57	32.532 610 77		7	18	6	14.792	-17	41	51.60	30.686 156 78
	8	18	5	46.844	-17	44	45.22	32.517 502 79		11	18	5	50.153	-17	42	32.19	30.705 974 64
	12	18	6	22.013	-17	44	49.64	32.497 935 87		15	18	5	26.179	-17	43	15.36	30.730 213 83
	16	18	6	56.480	-17	44	50.93	32.474 007 92		19	18	5	3.012	-17	44	1.04	30.758 788 03
	20	18	7	30.119	-17	44	49.19	32.445 818 10	23	18	4	40.798	-17	44	49.15	30.791 588 43	
	24	18	8	2.799	-17	44	44.55	32.413 488 14	27	18	4	19.684	-17	45	39.54	30.828 465 01	
	28	18	8	34.387	-17	44	37.18	32.377 173 96	31	18	3	59.800	-17	46	32.08	30.869 229 88	
Févr.	1	18	9	4.757	-17	44	27.26	32.337 063 20	Août	4	18	3	41.260	-17	47	26.61	30.913 684 41
	5	18	9	33.792	-17	44	15.02	32.293 373 56		8	18	3	24.171	-17	48	23.02	30.961 628 41
	9	18	10	1.390	-17	44	0.65	32.246 337 37		12	18	3	8.631	-17	49	21.17	31.012 859 86
	13	18	10	27.458	-17	43	44.36	32.196 181 36		16	18	2	54.737	-17	50	20.94	31.067 168 57
	17	18	10	51.906	-17	43	26.33	32.143 128 78		20	18	2	42.588	-17	51	22.16	31.124 326 46
	21	18	11	14.636	-17	43	6.79	32.087 422 38	24	18	2	32.275	-17	52	24.65	31.184 068 24	
	25	18	11	35.559	-17	42	45.97	32.029 331 72	28	18	2	23.870	-17	53	28.19	31.246 101 63	
Mars	1	18	11	54.593	-17	42	24.14	31.969 151 50	Sept.	1	18	2	17.428	-17	54	32.61	31.310 134 29
	5	18	12	11.672	-17	42	1.57	31.907 196 43		5	18	2	12.991	-17	55	37.73	31.375 880 61
	9	18	12	26.746	-17	41	38.50	31.843 783 29		9	18	2	10.597	-17	56	43.37	31.443 060 15
	13	18	12	39.777	-17	41	15.15	31.779 213 00		13	18	2	10.278	-17	57	49.36	31.511 391 99
	17	18	12	50.728	-17	40	51.75	31.713 777 29		17	18	2	12.066	-17	58	55.49	31.580 581 03
	21	18	12	59.563	-17	40	28.52	31.647 778 85	21	18	2	15.984	-18	0	1.54	31.650 304 32	
	25	18	13	6.253	-17	40	5.72	31.581 538 00	25	18	2	22.033	-18	1	7.27	31.720 225 44	
	29	18	13	10.783	-17	39	43.59	31.515 390 09	29	18	2	30.199	-18	2	12.48	31.790 017 96	
Avril	2	18	13	13.153	-17	39	22.39	31.449 678 39	Oct.	3	18	2	40.457	-18	3	16.97	31.859 373 27
	6	18	13	13.383	-17	39	2.33	31.384 733 38		7	18	2	52.775	-18	4	20.56	31.927 995 63
	10	18	13	11.505	-17	38	43.58	31.320 858 94		11	18	3	7.122	-18	5	23.05	31.995 597 38
	14	18	13	7.549	-17	38	26.33	31.258 342 44		15	18	3	23.464	-18	6	24.23	32.061 881 71
	18	18	13	1.551	-17	38	10.76	31.197 474 45		19	18	3	41.756	-18	7	23.88	32.126 534 92
	22	18	12	53.553	-17	37	57.05	31.138 551 93	23	18	4	1.935	-18	8	21.80	32.189 243 01	
	26	18	12	43.612	-17	37	45.39	31.081 876 69	27	18	4	23.924	-18	9	17.79	32.249 713 90	
Mai	30	18	12	31.802	-17	37	35.95	31.027 746 42	Nov.	31	18	4	47.637	-18	10	11.69	32.307 681 31
	4	18	12	18.214	-17	37	28.86	30.976 432 10		4	18	5	12.988	-18	11	3.34	32.362 901 23
	8	18	12	2.949	-17	37	24.22	30.928 167 90		8	18	5	39.889	-18	11	52.61	32.415 144 62
	12	18	11	46.103	-17	37	22.12	30.883 167 49		12	18	6	8.253	-18	12	39.33	32.464 179 01
	16	18	11	27.776	-17	37	22.64	30.841 639 97		16	18	6	37.984	-18	13	23.33	32.509 764 64
	20	18	11	8.076	-17	37	25.91	30.803 792 39	20	18	7	8.969	-18	14	4.48	32.551 674 92	
	24	18	10	47.119	-17	37	32.00	30.769 827 70	24	18	7	41.085	-18	14	42.68	32.589 713 82	
	28	18	10	25.041	-17	37	40.98	30.739 934 23	28	18	8	14.204	-18	15	17.84	32.623 718 39	
Juin	1	18	10	1.988	-17	37	52.90	30.714 264 08	Déc.	2	18	8	48.202	-18	15	49.91	32.653 554 41
	5	18	9	38.107	-17	38	7.74	30.692 925 18		6	18	9	22.957	-18	16	18.84	32.679 107 70
	9	18	9	13.540	-17	38	25.51	30.676 005 17		10	18	9	58.348	-18	16	44.55	32.700 264 31
	13	18	8	48.427	-17	38	46.22	30.663 582 68		14	18	10	34.249	-18	17	7.01	32.716 910 61
	17	18	8	22.913	-17	39	9.88	30.655 729 50		18	18	11	10.519	-18	17	26.20	32.728 955 47
	21	18	7	57.146	-17	39	36.49	30.652 507 61	22	18	11	47.013	-18	17	42.12	32.736 344 74	
	25	18	7	31.287	-17	40	6.04	30.653 959 25	26	18	12	23.586	-18	17	54.85	32.739 059 81	
	29	18	7	5.504	-17	40	38.46	30.660 083 56	30	18	13	0.098	-18	18	4.42	32.737 113 52	

CÉRÈS 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 18 4 34.897	-17 44 26.60	32.543 161 62	Juill.	3 18 6 39.957	-17 41 13.67	30.670 836 70
	4 18 5 11.095	-17 44 37.57	32.532 610 77		7 18 6 14.792	-17 41 51.60	30.686 156 78
	8 18 5 46.844	-17 44 45.22	32.517 502 79		11 18 5 50.153	-17 42 32.19	30.705 974 64
	12 18 6 22.013	-17 44 49.64	32.497 935 87		15 18 5 26.179	-17 43 15.36	30.730 213 83
	16 18 6 56.480	-17 44 50.93	32.474 007 92		19 18 5 3.012	-17 44 1.04	30.758 788 03
	20 18 7 30.119	-17 44 49.19	32.445 818 10	23 18 4 40.798	-17 44 49.15	30.791 588 43	
	24 18 8 2.799	-17 44 44.55	32.413 488 14	27 18 4 19.684	-17 45 39.54	30.828 465 01	
	28 18 8 34.387	-17 44 37.18	32.377 173 96	31 18 3 59.800	-17 46 32.08	30.869 229 88	
Févr.	1 18 9 4.757	-17 44 27.26	32.337 063 20	Août	4 18 3 41.260	-17 47 26.61	30.913 684 41
	5 18 9 33.792	-17 44 15.02	32.293 373 56		8 18 3 24.171	-17 48 23.02	30.961 628 41
	9 18 10 1.390	-17 44 0.65	32.246 337 37		12 18 3 8.631	-17 49 21.17	31.012 859 86
	13 18 10 27.458	-17 43 44.36	32.196 181 36		16 18 2 54.737	-17 50 20.94	31.067 168 57
	17 18 10 51.906	-17 43 26.33	32.143 128 78		20 18 2 42.588	-17 51 22.16	31.124 326 46
	21 18 11 14.636	-17 43 6.79	32.087 422 38	24 18 2 32.275	-17 52 24.65	31.184 068 24	
	25 18 11 35.559	-17 42 45.97	32.029 331 72	28 18 2 23.870	-17 53 28.19	31.246 101 63	
Mars	1 18 11 54.593	-17 42 24.14	31.969 151 50	Sept.	1 18 2 17.428	-17 54 32.61	31.310 134 29
	5 18 12 11.672	-17 42 1.57	31.907 196 43		5 18 2 12.991	-17 55 37.73	31.375 880 61
	9 18 12 26.746	-17 41 38.50	31.843 783 29		9 18 2 10.597	-17 56 43.37	31.443 060 15
	13 18 12 39.777	-17 41 15.15	31.779 213 00		13 18 2 10.278	-17 57 49.36	31.511 391 99
	17 18 12 50.728	-17 40 51.75	31.713 777 29		17 18 2 12.066	-17 58 55.49	31.580 581 03
	21 18 12 59.563	-17 40 28.52	31.647 778 85	21 18 2 15.984	-18 0 1.54	31.650 304 32	
	25 18 13 6.253	-17 40 5.72	31.581 538 00	25 18 2 22.033	-18 1 7.27	31.720 225 44	
	29 18 13 10.783	-17 39 43.59	31.515 390 09	29 18 2 30.199	-18 2 12.48	31.790 017 96	
Avril	2 18 13 13.153	-17 39 22.39	31.449 678 39	Oct.	3 18 2 40.457	-18 3 16.97	31.859 373 27
	6 18 13 13.383	-17 39 2.33	31.384 733 38		7 18 2 52.775	-18 4 20.56	31.927 995 63
	10 18 13 11.505	-17 38 43.58	31.320 858 94		11 18 3 7.122	-18 5 23.05	31.995 597 38
	14 18 13 7.549	-17 38 26.33	31.258 342 44		15 18 3 23.464	-18 6 24.23	32.061 881 71
	18 18 13 1.551	-17 38 10.76	31.197 474 45		19 18 3 41.756	-18 7 23.88	32.126 534 92
	22 18 12 53.553	-17 37 57.05	31.138 551 93	23 18 4 1.935	-18 8 21.80	32.189 243 01	
	26 18 12 43.612	-17 37 45.39	31.081 876 69	27 18 4 23.924	-18 9 17.79	32.249 713 90	
Mai	30 18 12 31.802	-17 37 35.95	31.027 746 42	Nov.	31 18 4 47.637	-18 10 11.69	32.307 681 31
	4 18 12 18.214	-17 37 28.86	30.976 432 10		4 18 5 12.988	-18 11 3.34	32.362 901 23
	8 18 12 2.949	-17 37 24.22	30.928 167 90		8 18 5 39.889	-18 11 52.61	32.415 144 62
	12 18 11 46.103	-17 37 22.12	30.883 167 49		12 18 6 8.253	-18 12 39.33	32.464 179 01
	16 18 11 27.776	-17 37 22.64	30.841 639 97		16 18 6 37.984	-18 13 23.33	32.509 764 64
	20 18 11 8.076	-17 37 25.91	30.803 792 39	20 18 7 8.969	-18 14 4.48	32.551 674 92	
	24 18 10 47.119	-17 37 32.00	30.769 827 70	24 18 7 41.085	-18 14 42.68	32.589 713 82	
	28 18 10 25.041	-17 37 40.98	30.739 934 23	28 18 8 14.204	-18 15 17.84	32.623 718 39	
Juin	1 18 10 1.988	-17 37 52.90	30.714 264 08	Déc.	2 18 8 48.202	-18 15 49.91	32.653 554 41
	5 18 9 38.107	-17 38 7.74	30.692 925 18		6 18 9 22.957	-18 16 18.84	32.679 107 70
	9 18 9 13.540	-17 38 25.51	30.676 005 17		10 18 9 58.348	-18 16 44.55	32.700 264 31
	13 18 8 48.427	-17 38 46.22	30.663 582 68		14 18 10 34.249	-18 17 7.01	32.716 910 61
	17 18 8 22.913	-17 39 9.88	30.655 729 50		18 18 11 10.519	-18 17 26.20	32.728 955 47
	21 18 7 57.146	-17 39 36.49	30.652 507 61	22 18 11 47.013	-18 17 42.12	32.736 344 74	
	25 18 7 31.287	-17 40 6.04	30.653 959 25	26 18 12 23.586	-18 17 54.85	32.739 059 81	
	29 18 7 5.504	-17 40 38.46	30.660 083 56	30 18 13 0.098	-18 18 4.42	32.737 113 52	

PALLAS 2009 à 0h TT**ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE**

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance	
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua	
Janv.	0 18 4 34.897	-17 44 26.60	32.543 161 62	Juill.	3 18 6 39.957	-17 41 13.67	30.670 836 70	
	4 18 5 11.095	-17 44 37.57	32.532 610 77		7 18 6 14.792	-17 41 51.60	30.686 156 78	
	8 18 5 46.844	-17 44 45.22	32.517 502 79		11 18 5 50.153	-17 42 32.19	30.705 974 64	
	12 18 6 22.013	-17 44 49.64	32.497 935 87		15 18 5 26.179	-17 43 15.36	30.730 213 83	
	16 18 6 56.480	-17 44 50.93	32.474 007 92		19 18 5 3.012	-17 44 1.04	30.758 788 03	
	20 18 7 30.119	-17 44 49.19	32.445 818 10		23 18 4 40.798	-17 44 49.15	30.791 588 43	
	24 18 8 2.799	-17 44 44.55	32.413 488 14		27 18 4 19.684	-17 45 39.54	30.828 465 01	
	28 18 8 34.387	-17 44 37.18	32.377 173 96		31 18 3 59.800	-17 46 32.08	30.869 229 88	
Févr.	1 18 9 4.757	-17 44 27.26	32.337 063 20	Août	4 18 3 41.260	-17 47 26.61	30.913 684 41	
	5 18 9 33.792	-17 44 15.02	32.293 373 56		8 18 3 24.171	-17 48 23.02	30.961 628 41	
		9 18 10 1.390	-17 44 0.65	32.246 337 37		12 18 3 8.631	-17 49 21.17	31.012 859 86
		13 18 10 27.458	-17 43 44.36	32.196 181 36		16 18 2 54.737	-17 50 20.94	31.067 168 57
		17 18 10 51.906	-17 43 26.33	32.143 128 78		20 18 2 42.588	-17 51 22.16	31.124 326 46
	21 18 11 14.636	-17 43 6.79	32.087 422 38		24 18 2 32.275	-17 52 24.65	31.184 068 24	
	25 18 11 35.559	-17 42 45.97	32.029 331 72		28 18 2 23.870	-17 53 28.19	31.246 101 63	
Mars	1 18 11 54.593	-17 42 24.14	31.969 151 50	Sept.	1 18 2 17.428	-17 54 32.61	31.310 134 29	
	5 18 12 11.672	-17 42 1.57	31.907 196 43		5 18 2 12.991	-17 55 37.73	31.375 880 61	
	9 18 12 26.746	-17 41 38.50	31.843 783 29		9 18 2 10.597	-17 56 43.37	31.443 060 15	
	13 18 12 39.777	-17 41 15.15	31.779 213 00		13 18 2 10.278	-17 57 49.36	31.511 391 99	
	17 18 12 50.728	-17 40 51.75	31.713 777 29		17 18 2 12.066	-17 58 55.49	31.580 581 03	
	21 18 12 59.563	-17 40 28.52	31.647 778 85		21 18 2 15.984	-18 0 1.54	31.650 304 32	
	25 18 13 6.253	-17 40 5.72	31.581 538 00		25 18 2 22.033	-18 1 7.27	31.720 225 44	
	29 18 13 10.783	-17 39 43.59	31.515 390 09		29 18 2 30.199	-18 2 12.48	31.790 017 96	
Avril	2 18 13 13.153	-17 39 22.39	31.449 678 39	Oct.	3 18 2 40.457	-18 3 16.97	31.859 373 27	
	6 18 13 13.383	-17 39 2.33	31.384 733 38		7 18 2 52.775	-18 4 20.56	31.927 995 63	
		10 18 13 11.505	-17 38 43.58	31.320 858 94		11 18 3 7.122	-18 5 23.05	31.995 597 38
		14 18 13 7.549	-17 38 26.33	31.258 342 44		15 18 3 23.464	-18 6 24.23	32.061 881 71
	18 18 13 1.551	-17 38 10.76	31.197 474 45		19 18 3 41.756	-18 7 23.88	32.126 534 92	
	22 18 12 53.553	-17 37 57.05	31.138 551 93		23 18 4 1.935	-18 8 21.80	32.189 243 01	
	26 18 12 43.612	-17 37 45.39	31.081 876 69		27 18 4 23.924	-18 9 17.79	32.249 713 90	
Mai	30 18 12 31.802	-17 37 35.95	31.027 746 42	Nov.	31 18 4 47.637	-18 10 11.69	32.307 681 31	
	4 18 12 18.214	-17 37 28.86	30.976 432 10		4 18 5 12.988	-18 11 3.34	32.362 901 23	
	8 18 12 2.949	-17 37 24.22	30.928 167 90		8 18 5 39.889	-18 11 52.61	32.415 144 62	
	12 18 11 46.103	-17 37 22.12	30.883 167 49		12 18 6 8.253	-18 12 39.33	32.464 179 01	
	16 18 11 27.776	-17 37 22.64	30.841 639 97		16 18 6 37.984	-18 13 23.33	32.509 764 64	
	20 18 11 8.076	-17 37 25.91	30.803 792 39		20 18 7 8.969	-18 14 4.48	32.551 674 92	
	24 18 10 47.119	-17 37 32.00	30.769 827 70		24 18 7 41.085	-18 14 42.68	32.589 713 82	
	28 18 10 25.041	-17 37 40.98	30.739 934 23		28 18 8 14.204	-18 15 17.84	32.623 718 39	
Juin	1 18 10 1.988	-17 37 52.90	30.714 264 08	Déc.	2 18 8 48.202	-18 15 49.91	32.653 554 41	
	5 18 9 38.107	-17 38 7.74	30.692 925 18		6 18 9 22.957	-18 16 18.84	32.679 107 70	
		9 18 9 13.540	-17 38 25.51	30.676 005 17		10 18 9 58.348	-18 16 44.55	32.700 264 31
		13 18 8 48.427	-17 38 46.22	30.663 582 68		14 18 10 34.249	-18 17 7.01	32.716 910 61
		17 18 8 22.913	-17 39 9.88	30.655 729 50		18 18 11 10.519	-18 17 26.20	32.728 955 47
	21 18 7 57.146	-17 39 36.49	30.652 507 61		22 18 11 47.013	-18 17 42.12	32.736 344 74	
	25 18 7 31.287	-17 40 6.04	30.653 959 25		26 18 12 23.586	-18 17 54.85	32.739 059 81	
	29 18 7 5.504	-17 40 38.46	30.660 083 56		30 18 13 0.098	-18 18 4.42	32.737 113 52	

JUNON 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance		
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua		
Janv.	0	18 4 34.897	-17 44 26.60	32.543 161 62	Juill.	3	18 6 39.957	-17 41 13.67	30.670 836 70
	4	18 5 11.095	-17 44 37.57	32.532 610 77		7	18 6 14.792	-17 41 51.60	30.686 156 78
	8	18 5 46.844	-17 44 45.22	32.517 502 79		11	18 5 50.153	-17 42 32.19	30.705 974 64
	12	18 6 22.013	-17 44 49.64	32.497 935 87		15	18 5 26.179	-17 43 15.36	30.730 213 83
	16	18 6 56.480	-17 44 50.93	32.474 007 92		19	18 5 3.012	-17 44 1.04	30.758 788 03
	20	18 7 30.119	-17 44 49.19	32.445 818 10	23	18 4 40.798	-17 44 49.15	30.791 588 43	
	24	18 8 2.799	-17 44 44.55	32.413 488 14	27	18 4 19.684	-17 45 39.54	30.828 465 01	
	28	18 8 34.387	-17 44 37.18	32.377 173 96	31	18 3 59.800	-17 46 32.08	30.869 229 88	
Févr.	1	18 9 4.757	-17 44 27.26	32.337 063 20	Août	4	18 3 41.260	-17 47 26.61	30.913 684 41
	5	18 9 33.792	-17 44 15.02	32.293 373 56		8	18 3 24.171	-17 48 23.02	30.961 628 41
	9	18 10 1.390	-17 44 0.65	32.246 337 37		12	18 3 8.631	-17 49 21.17	31.012 859 86
	13	18 10 27.458	-17 43 44.36	32.196 181 36		16	18 2 54.737	-17 50 20.94	31.067 168 57
	17	18 10 51.906	-17 43 26.33	32.143 128 78		20	18 2 42.588	-17 51 22.16	31.124 326 46
	21	18 11 14.636	-17 43 6.79	32.087 422 38	24	18 2 32.275	-17 52 24.65	31.184 068 24	
	25	18 11 35.559	-17 42 45.97	32.029 331 72	28	18 2 23.870	-17 53 28.19	31.246 101 63	
Mars	1	18 11 54.593	-17 42 24.14	31.969 151 50	Sept.	1	18 2 17.428	-17 54 32.61	31.310 134 29
	5	18 12 11.672	-17 42 1.57	31.907 196 43		5	18 2 12.991	-17 55 37.73	31.375 880 61
	9	18 12 26.746	-17 41 38.50	31.843 783 29		9	18 2 10.597	-17 56 43.37	31.443 060 15
	13	18 12 39.777	-17 41 15.15	31.779 213 00		13	18 2 10.278	-17 57 49.36	31.511 391 99
	17	18 12 50.728	-17 40 51.75	31.713 777 29		17	18 2 12.066	-17 58 55.49	31.580 581 03
	21	18 12 59.563	-17 40 28.52	31.647 778 85	21	18 2 15.984	-18 0 1.54	31.650 304 32	
	25	18 13 6.253	-17 40 5.72	31.581 538 00	25	18 2 22.033	-18 1 7.27	31.720 225 44	
	29	18 13 10.783	-17 39 43.59	31.515 390 09	29	18 2 30.199	-18 2 12.48	31.790 017 96	
Avril	2	18 13 13.153	-17 39 22.39	31.449 678 39	Oct.	3	18 2 40.457	-18 3 16.97	31.859 373 27
	6	18 13 13.383	-17 39 2.33	31.384 733 38		7	18 2 52.775	-18 4 20.56	31.927 995 63
	10	18 13 11.505	-17 38 43.58	31.320 858 94		11	18 3 7.122	-18 5 23.05	31.995 597 38
	14	18 13 7.549	-17 38 26.33	31.258 342 44		15	18 3 23.464	-18 6 24.23	32.061 881 71
	18	18 13 1.551	-17 38 10.76	31.197 474 45		19	18 3 41.756	-18 7 23.88	32.126 534 92
	22	18 12 53.553	-17 37 57.05	31.138 551 93	23	18 4 1.935	-18 8 21.80	32.189 243 01	
	26	18 12 43.612	-17 37 45.39	31.081 876 69	27	18 4 23.924	-18 9 17.79	32.249 713 90	
Mai	30	18 12 31.802	-17 37 35.95	31.027 746 42	Nov.	31	18 4 47.637	-18 10 11.69	32.307 681 31
	4	18 12 18.214	-17 37 28.86	30.976 432 10		4	18 5 12.988	-18 11 3.34	32.362 901 23
	8	18 12 2.949	-17 37 24.22	30.928 167 90		8	18 5 39.889	-18 11 52.61	32.415 144 62
	12	18 11 46.103	-17 37 22.12	30.883 167 49		12	18 6 8.253	-18 12 39.33	32.464 179 01
	16	18 11 27.776	-17 37 22.64	30.841 639 97		16	18 6 37.984	-18 13 23.33	32.509 764 64
	20	18 11 8.076	-17 37 25.91	30.803 792 39	20	18 7 8.969	-18 14 4.48	32.551 674 92	
	24	18 10 47.119	-17 37 32.00	30.769 827 70	24	18 7 41.085	-18 14 42.68	32.589 713 82	
	28	18 10 25.041	-17 37 40.98	30.739 934 23	28	18 8 14.204	-18 15 17.84	32.623 718 39	
Juin	1	18 10 1.988	-17 37 52.90	30.714 264 08	Déc.	2	18 8 48.202	-18 15 49.91	32.653 554 41
	5	18 9 38.107	-17 38 7.74	30.692 925 18		6	18 9 22.957	-18 16 18.84	32.679 107 70
	9	18 9 13.540	-17 38 25.51	30.676 005 17		10	18 9 58.348	-18 16 44.55	32.700 264 31
	13	18 8 48.427	-17 38 46.22	30.663 582 68		14	18 10 34.249	-18 17 7.01	32.716 910 61
	17	18 8 22.913	-17 39 9.88	30.655 729 50		18	18 11 10.519	-18 17 26.20	32.728 955 47
	21	18 7 57.146	-17 39 36.49	30.652 507 61	22	18 11 47.013	-18 17 42.12	32.736 344 74	
	25	18 7 31.287	-17 40 6.04	30.653 959 25	26	18 12 23.586	-18 17 54.85	32.739 059 81	
	29	18 7 5.504	-17 40 38.46	30.660 083 56	30	18 13 0.098	-18 18 4.42	32.737 113 52	

VESTA 2009 à 0h TT

ASCENSION DROITE ET DÉCLINAISON ASTROMÉTRIQUES, DISTANCE À LA TERRE

Équinoxe et équateur moyens J2000 (jour julien 2451 545.0).

Date	asc. droite	déclinaison	distance	Date	asc. droite	déclinaison	distance
	h m s	° ' "	ua		h m s	° ' "	ua
Janv.	0 18 4 34.897	-17 44 26.60	32.543 161 62	Juill.	3 18 6 39.957	-17 41 13.67	30.670 836 70
	4 18 5 11.095	-17 44 37.57	32.532 610 77		7 18 6 14.792	-17 41 51.60	30.686 156 78
	8 18 5 46.844	-17 44 45.22	32.517 502 79		11 18 5 50.153	-17 42 32.19	30.705 974 64
	12 18 6 22.013	-17 44 49.64	32.497 935 87		15 18 5 26.179	-17 43 15.36	30.730 213 83
	16 18 6 56.480	-17 44 50.93	32.474 007 92		19 18 5 3.012	-17 44 1.04	30.758 788 03
	20 18 7 30.119	-17 44 49.19	32.445 818 10	23 18 4 40.798	-17 44 49.15	30.791 588 43	
	24 18 8 2.799	-17 44 44.55	32.413 488 14	27 18 4 19.684	-17 45 39.54	30.828 465 01	
	28 18 8 34.387	-17 44 37.18	32.377 173 96	31 18 3 59.800	-17 46 32.08	30.869 229 88	
Févr.	1 18 9 4.757	-17 44 27.26	32.337 063 20	Août	4 18 3 41.260	-17 47 26.61	30.913 684 41
	5 18 9 33.792	-17 44 15.02	32.293 373 56		8 18 3 24.171	-17 48 23.02	30.961 628 41
		9 18 10 1.390	-17 44 0.65	32.246 337 37	12 18 3 8.631	-17 49 21.17	31.012 859 86
		13 18 10 27.458	-17 43 44.36	32.196 181 36	16 18 2 54.737	-17 50 20.94	31.067 168 57
		17 18 10 51.906	-17 43 26.33	32.143 128 78	20 18 2 42.588	-17 51 22.16	31.124 326 46
	21 18 11 14.636	-17 43 6.79	32.087 422 38	24 18 2 32.275	-17 52 24.65	31.184 068 24	
	25 18 11 35.559	-17 42 45.97	32.029 331 72	28 18 2 23.870	-17 53 28.19	31.246 101 63	
Mars	1 18 11 54.593	-17 42 24.14	31.969 151 50	Sept.	1 18 2 17.428	-17 54 32.61	31.310 134 29
	5 18 12 11.672	-17 42 1.57	31.907 196 43		5 18 2 12.991	-17 55 37.73	31.375 880 61
	9 18 12 26.746	-17 41 38.50	31.843 783 29		9 18 2 10.597	-17 56 43.37	31.443 060 15
	13 18 12 39.777	-17 41 15.15	31.779 213 00		13 18 2 10.278	-17 57 49.36	31.511 391 99
	17 18 12 50.728	-17 40 51.75	31.713 777 29		17 18 2 12.066	-17 58 55.49	31.580 581 03
	21 18 12 59.563	-17 40 28.52	31.647 778 85	21 18 2 15.984	-18 0 1.54	31.650 304 32	
	25 18 13 6.253	-17 40 5.72	31.581 538 00	25 18 2 22.033	-18 1 7.27	31.720 225 44	
	29 18 13 10.783	-17 39 43.59	31.515 390 09	29 18 2 30.199	-18 2 12.48	31.790 017 96	
Avril	2 18 13 13.153	-17 39 22.39	31.449 678 39	Oct.	3 18 2 40.457	-18 3 16.97	31.859 373 27
	6 18 13 13.383	-17 39 2.33	31.384 733 38		7 18 2 52.775	-18 4 20.56	31.927 995 63
		10 18 13 11.505	-17 38 43.58	31.320 858 94	11 18 3 7.122	-18 5 23.05	31.995 597 38
		14 18 13 7.549	-17 38 26.33	31.258 342 44	15 18 3 23.464	-18 6 24.23	32.061 881 71
	18 18 13 1.551	-17 38 10.76	31.197 474 45	19 18 3 41.756	-18 7 23.88	32.126 534 92	
	22 18 12 53.553	-17 37 57.05	31.138 551 93	23 18 4 1.935	-18 8 21.80	32.189 243 01	
	26 18 12 43.612	-17 37 45.39	31.081 876 69	27 18 4 23.924	-18 9 17.79	32.249 713 90	
Mai	30 18 12 31.802	-17 37 35.95	31.027 746 42	Nov.	31 18 4 47.637	-18 10 11.69	32.307 681 31
	4 18 12 18.214	-17 37 28.86	30.976 432 10		4 18 5 12.988	-18 11 3.34	32.362 901 23
	8 18 12 2.949	-17 37 24.22	30.928 167 90		8 18 5 39.889	-18 11 52.61	32.415 144 62
	12 18 11 46.103	-17 37 22.12	30.883 167 49		12 18 6 8.253	-18 12 39.33	32.464 179 01
	16 18 11 27.776	-17 37 22.64	30.841 639 97		16 18 6 37.984	-18 13 23.33	32.509 764 64
	20 18 11 8.076	-17 37 25.91	30.803 792 39	20 18 7 8.969	-18 14 4.48	32.551 674 92	
	24 18 10 47.119	-17 37 32.00	30.769 827 70	24 18 7 41.085	-18 14 42.68	32.589 713 82	
	28 18 10 25.041	-17 37 40.98	30.739 934 23	28 18 8 14.204	-18 15 17.84	32.623 718 39	
Juin	1 18 10 1.988	-17 37 52.90	30.714 264 08	Déc.	2 18 8 48.202	-18 15 49.91	32.653 554 41
	5 18 9 38.107	-17 38 7.74	30.692 925 18		6 18 9 22.957	-18 16 18.84	32.679 107 70
		9 18 9 13.540	-17 38 25.51	30.676 005 17	10 18 9 58.348	-18 16 44.55	32.700 264 31
		13 18 8 48.427	-17 38 46.22	30.663 582 68	14 18 10 34.249	-18 17 7.01	32.716 910 61
		17 18 8 22.913	-17 39 9.88	30.655 729 50	18 18 11 10.519	-18 17 26.20	32.728 955 47
	21 18 7 57.146	-17 39 36.49	30.652 507 61	22 18 11 47.013	-18 17 42.12	32.736 344 74	
	25 18 7 31.287	-17 40 6.04	30.653 959 25	26 18 12 23.586	-18 17 54.85	32.739 059 81	
	29 18 7 5.504	-17 40 38.46	30.660 083 56	30 18 13 0.098	-18 18 4.42	32.737 113 52	

SATELLITES DE MARS

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations *est*

PHOBOS	II. 98
DÉIMOS	II. 106

PHOBOS 2009**X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est**

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
			"				"				"
Janv.	1	6	4.805	Janv.	16	14	4.952	Janv.	31	21	5.140
	1	14	4.718		16	21	4.852	Févr.	1	5	5.340
	1	21	4.557		17	5	5.102		1	13	5.109
	2	5	4.829		17	13	4.943		1	20	5.182
	2	13	4.715		17	20	4.898		2	4	5.351
	2	20	4.603		18	4	5.120		2	12	5.087
	3	4	4.850		18	12	4.931		2	19	5.221
	3	12	4.711		18	19	4.942		3	3	5.359
	3	19	4.647		19	3	5.136		3	11	5.063
	4	3	4.870		19	11	4.918		3	18	5.258
	4	11	4.704		19	18	4.984		4	2	5.364
	4	18	4.690		20	2	5.150		4	10	5.036
	5	2	4.888		20	10	4.902		4	17	5.293
	5	10	4.695		20	17	5.024		5	1	5.367
	5	17	4.732		21	1	5.161		5	9	5.007
	6	1	4.904		21	9	4.883		5	16	5.325
	6	9	4.684		21	16	5.062		6	0	5.367
	6	16	4.772		22	0	5.171		6	8	4.974
	7	0	4.919		22	8	4.862		6	15	5.355
	7	8	4.671		22	15	5.099		6	23	5.365
	7	15	4.811		22	23	5.178		7	6	4.973
	7	23	4.931		23	7	4.839		7	14	5.382
	8	7	4.656		23	14	5.133		7	22	5.359
	8	14	4.848		23	22	5.182		8	5	5.028
	8	22	4.942		24	6	4.813		8	13	5.407
	9	6	4.639		24	13	5.165		8	21	5.351
	9	13	4.883		24	21	5.184		9	4	5.081
	9	21	4.950		25	4	4.791		9	12	5.429
	10	5	4.620		25	12	5.195		9	20	5.340
	10	12	4.917		25	20	5.184		10	3	5.132
	10	20	4.957		26	3	4.847		10	11	5.449
	11	4	4.598		26	11	5.223		10	19	5.326
	11	11	4.949		26	19	5.181		11	2	5.180
	11	19	4.962		27	2	4.901		11	10	5.465
	12	2	4.598		27	10	5.248		11	18	5.310
	12	10	4.979		27	18	5.176		12	1	5.226
	12	18	4.964		28	1	4.953		12	9	5.479
	13	1	4.652		28	9	5.272		12	17	5.290
	13	9	5.008		28	17	5.167		13	0	5.270
	13	17	4.964		29	0	5.003		13	8	5.491
	14	0	4.704		29	8	5.292		13	16	5.268
	14	8	5.034		29	16	5.157		13	23	5.311
	14	16	4.962		29	23	5.051		14	7	5.499
	14	23	4.755		30	7	5.311		14	15	5.242
	15	7	5.059		30	15	5.143		14	22	5.350
	15	15	4.958		30	22	5.097		15	6	5.505
	15	22	4.804		31	6	5.327		15	14	5.214
	16	6	5.081		31	14	5.127		15	21	5.386
			-2.169				-1.400				-1.319
			-2.022				-1.788				-1.000
			-2.128				-1.630				-0.595
			-2.138				-1.336				-1.268
			-1.971				-1.756				-0.933
			-2.116				-1.579				-0.518
			-2.104				-1.269				-1.215
			-1.919				-1.721				-0.865
			-2.101				-1.525				-0.441
			-2.068				-1.202				-1.160
			-1.864				-1.684				-0.796
			-2.083				-1.470				-0.363
			-2.030				-1.132				-1.103
			-1.808				-1.645				-0.725
			-2.063				-1.413				-0.284
			-1.989				-1.062				-1.044
			-1.750				-1.603				-0.652
			-2.041				-1.353				-0.204
			-1.946				-0.990				-0.982
			-1.690				-1.559				-0.579
			-2.016				-1.292				-1.255
			-1.901				-0.917				-0.919
			-1.628				-1.513				-0.504
			-1.988				-1.229				-1.207
			-1.853				-0.842				-0.855
			-1.564				-1.464				-0.428
			-1.958				-1.165				-1.156
			-1.803				-1.608				-0.788
			-1.499				-1.413				-0.351
			-1.925				-1.098				-1.103
			-1.752				-1.575				-0.720
			-1.433				-1.360				-0.273
			-1.890				-1.031				-1.048
			-1.698				-1.538				-0.650
			-1.909				-1.305				-0.194
			-1.853				-0.961				-0.991
			-1.642				-1.499				-0.578
			-1.890				-1.248				-0.114
			-1.813				-0.890				-0.931
			-1.585				-1.458				-0.505
			-1.868				-1.188				-0.034
			-1.770				-0.818				-0.870
			-1.525				-1.414				-0.431
			-1.844				-1.127				0.047
			-1.726				-0.745				-0.806
			-1.464				-1.367				-0.356
			-1.817				-1.064				0.128
			-1.679				-0.670				-0.741

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date					
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"		
			X				Y				Y		
Févr.	16	5	5.508	Mars	3	13	5.152	1.030	Mars	18	20	5.655	0.698
	16	13	5.183		3	20	5.581	-0.006		19	4	5.536	1.351
	16	20	5.419		4	4	5.570	0.575		19	11	5.359	0.075
	17	4	5.507		4	11	5.195	-0.512		19	19	5.663	0.785
	17	12	5.149		4	19	5.601	0.074		20	3	5.508	1.436
	17	19	5.450		5	3	5.554	0.659		20	10	5.398	0.158
	18	3	5.504		5	10	5.246	-0.440		20	18	5.667	0.873
	18	11	5.112		5	18	5.618	0.156		21	2	5.477	1.521
	18	18	5.478		6	2	5.536	0.744		21	9	5.434	0.243
	19	2	5.498		6	9	5.293	-0.367		21	17	5.668	0.961
	19	9	5.074		6	17	5.631	0.238		22	1	5.442	1.605
	19	17	5.503		7	1	5.514	0.829		22	8	5.468	0.329
	20	1	5.490		7	8	5.338	-0.292		22	16	5.667	1.050
	20	8	5.128		7	16	5.642	0.321		23	0	5.405	1.689
	20	16	5.526		8	0	5.489	0.913		23	7	5.498	0.415
	21	0	5.478		8	7	5.380	-0.216		23	15	5.662	1.138
	21	7	5.181		8	15	5.650	0.405		23	23	5.366	1.772
	21	15	5.546		8	23	5.461	0.998		24	6	5.526	0.502
	21	23	5.463		9	6	5.420	-0.139		24	14	5.655	1.226
	22	6	5.231		9	14	5.655	0.490		24	22	5.323	1.854
	22	14	5.563		9	22	5.431	1.083		25	5	5.551	0.590
	22	22	5.445		10	5	5.456	-0.060		25	13	5.644	1.315
	23	5	5.278		10	13	5.656	0.575		25	21	5.278	1.935
	23	13	5.577		10	21	5.397	1.167		26	4	5.573	0.679
	23	21	5.425		11	4	5.490	0.021		26	12	5.631	1.403
	24	4	5.322		11	12	5.655	0.661		26	20	5.230	2.014
	24	12	5.588		11	20	5.360	1.251		27	3	5.592	0.768
	24	20	5.401		12	3	5.521	0.102		27	11	5.614	1.490
	25	3	5.364		12	11	5.651	0.747		27	19	5.179	2.093
	25	11	5.596		12	19	5.321	1.334		28	2	5.608	0.858
	25	19	5.374		13	2	5.549	0.185		28	10	5.595	1.577
	26	2	5.404		13	10	5.643	0.833		28	17	5.215	0.159
	26	10	5.601		13	18	5.278	1.417		29	1	5.621	0.948
	26	18	5.345		14	1	5.574	0.268		29	9	5.573	1.664
	27	1	5.440		14	9	5.633	0.919		29	16	5.259	0.246
	27	9	5.604		14	17	5.233	1.499		30	0	5.632	1.038
	27	17	5.312		15	0	5.596	0.353		30	8	5.547	1.750
	28	0	5.474		15	8	5.620	1.006		30	15	5.301	0.334
	28	8	5.603		15	16	5.185	1.580		30	23	5.639	1.129
	28	16	5.277		15	23	5.616	0.438		31	7	5.519	1.836
	28	23	5.505		16	7	5.603	1.092		31	14	5.340	0.422
Mars	1	7	5.599		16	14	5.224	-0.169	Avril	31	22	5.643	1.219
	1	15	5.238		16	22	5.632	0.524		1	6	5.489	1.920
	1	22	5.534		17	6	5.584	1.179		1	13	5.376	0.512
	2	6	5.592		17	13	5.272	-0.089		1	21	5.645	1.309
	2	14	5.197		17	21	5.645	0.611		2	5	5.455	2.004
	2	21	5.559		18	5	5.561	1.265		2	12	5.409	0.602
	3	5	5.583		18	12	5.317	-0.008		2	20	5.644	1.400

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date					
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"		
			X				Y				Y		
Avril	3	4	5.419	Avril	18	11	5.446	1.311	Mai	3	19	5.418	2.755
	3	11	5.440		18	19	5.548	2.155		4	3	5.000	3.381
	3	19	5.639		19	3	5.198	2.824		4	10	5.405	1.998
	4	3	5.380		19	10	5.463	1.406		4	18	5.396	2.836
	4	10	5.468		19	18	5.531	2.242		5	1	5.015	1.099
	4	18	5.632		20	2	5.149	2.897		5	9	5.413	2.091
	5	2	5.338		20	9	5.478	1.501		5	17	5.372	2.916
	5	9	5.493		20	17	5.512	2.328		6	0	5.051	1.199
	5	17	5.622		21	1	5.098	2.967		6	8	5.418	2.184
	6	1	5.294		21	8	5.490	1.595		6	16	5.345	2.993
	6	8	5.515		21	16	5.491	2.413		6	23	5.085	1.298
	6	16	5.609		21	23	5.086	0.746		7	7	5.421	2.276
	7	0	5.247		22	7	5.500	1.689		7	15	5.317	3.070
	7	7	5.534		22	15	5.467	2.497		7	22	5.117	1.397
	7	15	5.594		22	22	5.126	0.842		8	6	5.421	2.366
	7	23	5.197		23	6	5.506	1.782		8	14	5.286	3.144
	8	6	5.551		23	14	5.440	2.580		8	21	5.146	1.496
	8	14	5.575		23	21	5.163	0.939		9	5	5.420	2.456
	8	22	5.145		24	5	5.511	1.875		9	13	5.253	3.216
	9	5	5.564		24	13	5.412	2.661		9	20	5.173	1.594
	9	13	5.554		24	20	5.197	1.036		10	4	5.416	2.544
	9	20	5.168		25	4	5.513	1.968		10	12	5.219	3.287
	10	4	5.575		25	12	5.380	2.741		10	19	5.198	1.692
	10	12	5.530		25	19	5.229	1.134		11	3	5.410	2.631
	10	19	5.209		26	3	5.512	2.059		11	11	5.182	3.355
	11	3	5.583		26	11	5.347	2.819		11	18	5.221	1.790
	11	11	5.503		26	18	5.259	1.231		12	2	5.402	2.716
	11	18	5.248		27	2	5.509	2.150		12	10	5.143	3.422
	12	2	5.588		27	10	5.311	2.896		12	17	5.241	1.887
	12	10	5.474		27	17	5.286	1.328		13	1	5.391	2.801
	12	17	5.285		28	1	5.503	2.240		13	9	5.103	3.486
	13	1	5.590		28	9	5.273	2.971		13	16	5.260	1.983
	13	9	5.442		28	16	5.310	1.425		14	0	5.379	2.883
	13	16	5.318		29	0	5.495	2.329		14	8	5.061	3.548
	14	0	5.590		29	8	5.233	3.044		14	15	5.276	2.078
	14	8	5.408		29	15	5.332	1.521		14	23	5.365	2.964
	14	15	5.349		29	23	5.484	2.416		15	7	5.017	3.608
	14	23	5.587		30	7	5.190	3.115		15	14	5.290	2.172
	15	7	5.371		30	14	5.351	1.618		15	22	5.348	3.044
	15	14	5.377		30	22	5.471	2.503		16	6	4.972	3.666
	15	22	5.581	Mai	1	6	5.146	3.185		16	13	5.302	2.266
	16	6	5.331		1	13	5.369	1.714		16	21	5.330	3.121
	16	13	5.403		1	21	5.456	2.588		17	5	4.925	3.721
	16	21	5.573		2	5	5.099	3.253		17	12	5.312	2.358
	17	5	5.289		2	12	5.383	1.809		17	20	5.310	3.197
	17	12	5.426		2	20	5.438	2.672		18	3	4.921	1.430
	17	20	5.562		3	4	5.050	3.318		18	11	5.320	2.450
	18	4	5.245		3	11	5.395	1.904		18	19	5.288	3.271

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Mai	19	2	4.956	1.530	Juin	3	10	5.266	3.015	Juin	18	18	5.179	4.040
	19	10	5.326	2.540		3	18	5.179	3.748		19	1	4.970	2.592
	19	18	5.264	3.342		4	1	4.960	2.133		19	9	5.280	3.481
	20	1	4.989	1.631		4	9	5.271	3.096		19	17	5.163	4.083
	20	9	5.330	2.628		4	17	5.156	3.806		20	0	5.005	2.681
	20	17	5.239	3.412		5	0	4.991	2.229		20	8	5.289	3.548
	21	0	5.021	1.730		5	8	5.275	3.175		20	16	5.145	4.122
	21	8	5.332	2.716		5	16	5.132	3.861		20	23	5.038	2.769
	21	16	5.211	3.480		5	23	5.020	2.324		21	7	5.297	3.613
	21	23	5.050	1.829		6	7	5.277	3.252		21	15	5.127	4.158
	22	7	5.332	2.801		6	15	5.107	3.913		21	22	5.071	2.855
	22	15	5.182	3.546		6	22	5.047	2.418		22	6	5.304	3.675
	22	22	5.077	1.927		7	6	5.277	3.327		22	14	5.107	4.192
	23	6	5.331	2.886		7	14	5.080	3.963		22	21	5.102	2.938
	23	14	5.152	3.609		7	21	5.073	2.510		23	5	5.309	3.734
	23	21	5.103	2.024		8	5	5.276	3.399		23	13	5.087	4.222
24	5	5.327	2.968	8	13	5.052	4.010	23	20	5.132	3.020			
24	13	5.119	3.670	8	20	5.098	2.601	24	4	5.314	3.791			
24	20	5.126	2.120	9	4	5.274	3.470	24	12	5.065	4.250			
25	4	5.322	3.049	9	12	5.023	4.054	24	19	5.161	3.100			
25	12	5.086	3.729	9	19	5.121	2.690	25	3	5.317	3.846			
25	19	5.148	2.216	10	3	5.270	3.538	25	11	5.042	4.274			
26	3	5.315	3.128	10	11	4.993	4.095	25	18	5.190	3.177			
26	11	5.050	3.785	10	18	5.143	2.778	26	2	5.319	3.897			
26	18	5.168	2.310	11	2	5.265	3.604	26	10	5.018	4.295			
27	2	5.306	3.206	11	10	4.961	4.134	26	17	5.217	3.253			
27	10	5.013	3.839	11	17	5.163	2.864	27	1	5.320	3.946			
27	17	5.186	2.404	12	1	5.259	3.668	27	9	4.993	4.313			
28	1	5.296	3.281	12	9	4.928	4.170	27	16	5.243	3.326			
28	9	4.975	3.890	12	16	5.182	2.948	28	0	5.320	3.991			
28	16	5.203	2.495	13	0	5.251	3.729	28	8	4.967	4.327			
29	0	5.284	3.354	13	8	4.894	4.203	28	15	5.268	3.396			
29	8	4.936	3.938	13	15	5.200	3.030	28	23	5.319	4.034			
29	15	5.218	2.586	13	23	5.242	3.787	29	7	4.940	4.339			
29	23	5.270	3.426	14	7	4.859	4.233	29	14	5.292	3.464			
30	7	4.895	3.984	14	14	5.217	3.111	29	22	5.317	4.074			
30	14	5.231	2.675	14	22	5.232	3.843	30	6	4.912	4.347			
30	22	5.255	3.495	15	6	4.823	4.259	30	13	5.315	3.530			
31	6	4.852	4.028	15	13	5.232	3.189	30	21	5.314	4.111			
31	13	5.242	2.762	15	21	5.220	3.897	Juill.	1	4	4.933	2.745		
Juin	31	21	5.238	3.562	16	4	4.859	2.315	1	12	5.337	3.593		
	1	4	4.859	1.838	16	12	5.246	3.265	1	20	5.309	4.144		
	1	12	5.252	2.848	16	20	5.208	3.947	2	3	4.978	2.829		
	1	20	5.220	3.626	17	3	4.897	2.409	2	11	5.358	3.653		
	2	3	4.894	1.937	17	11	5.258	3.339	2	19	5.304	4.175		
	2	11	5.260	2.933	17	19	5.194	3.995	3	2	5.023	2.912		
	2	19	5.200	3.689	18	2	4.934	2.501	3	10	5.378	3.711		
	3	2	4.928	2.035	18	10	5.270	3.411	3	18	5.297	4.202		

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est
Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date						
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"			
			"				"				"			
Juill.	4	1	5.067	2.993	Juill.	19	9	5.649	3.926	Août	3	17	5.936	4.022
	4	9	5.397	3.765		19	17	5.549	4.214		4	0	5.740	3.562
	4	17	5.289	4.226		20	0	5.346	3.375		4	8	6.087	3.944
	5	0	5.110	3.071		20	8	5.677	3.959		4	16	5.940	3.997
	5	8	5.414	3.817		20	16	5.548	4.214		4	23	5.806	3.602
	5	16	5.281	4.247		20	23	5.400	3.435		5	7	6.122	3.950
	5	23	5.152	3.147		21	7	5.704	3.988		5	15	5.942	3.968
	6	7	5.431	3.866		21	15	5.546	4.209		5	22	5.870	3.637
	6	15	5.271	4.265		21	22	5.453	3.493		6	6	6.156	3.951
	6	22	5.194	3.221		22	6	5.730	4.014		6	14	5.942	3.936
	7	6	5.447	3.912		22	14	5.543	4.202		6	21	5.934	3.669
	7	14	5.259	4.279		22	21	5.505	3.547		7	5	6.188	3.949
	7	21	5.234	3.292		23	5	5.754	4.036		7	13	5.940	3.899
	8	5	5.462	3.955		23	13	5.537	4.190		7	20	5.997	3.698
	8	13	5.247	4.290		23	20	5.556	3.598		8	4	6.219	3.943
	8	20	5.274	3.361		24	4	5.777	4.055		8	12	5.936	3.860
	9	4	5.475	3.995		24	12	5.531	4.175		8	19	6.059	3.722
	9	12	5.233	4.298		24	19	5.606	3.645		9	3	6.248	3.933
	9	19	5.313	3.427		25	3	5.799	4.070		9	11	5.929	3.816
	10	3	5.488	4.031		25	11	5.522	4.157		9	18	6.119	3.743
	10	11	5.219	4.302		25	18	5.656	3.690		10	2	6.274	3.920
	10	18	5.350	3.490		26	2	5.820	4.082		10	10	5.921	3.769
	11	2	5.499	4.065		26	10	5.512	4.134		10	17	6.177	3.761
	11	10	5.203	4.302		26	17	5.704	3.731		11	1	6.299	3.902
	11	17	5.387	3.551		27	1	5.839	4.090		11	9	5.910	3.719
	12	1	5.510	4.095		27	9	5.501	4.109		11	16	6.235	3.774
	12	9	5.186	4.300		27	16	5.751	3.769		12	0	6.322	3.881
	12	16	5.424	3.608		28	0	5.857	4.094		12	8	5.896	3.664
	13	0	5.519	4.122		28	8	5.487	4.079		12	15	6.290	3.784
	13	8	5.167	4.293		28	15	5.798	3.803		12	23	6.343	3.856
	13	15	5.459	3.663		28	23	5.873	4.095		13	7	5.880	3.607
	13	23	5.527	4.145		29	7	5.472	4.047		13	14	6.344	3.789
	14	7	5.147	4.284		29	14	5.843	3.834		13	22	6.361	3.827
	14	14	5.493	3.715		29	22	5.888	4.092		14	5	5.896	3.471
	14	22	5.534	4.165		30	6	5.455	4.010		14	13	6.397	3.791
	15	6	5.126	4.271		30	13	5.887	3.862		14	21	6.378	3.794
	15	13	5.526	3.764		30	21	5.901	4.086		15	4	5.979	3.503
	15	21	5.539	4.182		31	4	5.466	3.372		15	12	6.447	3.789
	16	4	5.123	3.106		31	12	5.929	3.886		15	20	6.391	3.758
	16	12	5.558	3.809		31	20	5.912	4.075		16	3	6.061	3.532
	16	20	5.544	4.195	Août	1	3	5.536	3.424		16	11	6.496	3.783
	17	3	5.180	3.178		1	11	5.971	3.906		16	19	6.403	3.717
	17	11	5.590	3.851		1	19	5.922	4.061		17	2	6.142	3.557
	17	19	5.547	4.205		2	2	5.605	3.474		17	10	6.543	3.773
	18	2	5.236	3.246		2	10	6.011	3.922		17	18	6.412	3.673
	18	10	5.620	3.891		2	18	5.930	4.043		18	1	6.221	3.578
	18	18	5.549	4.212		3	1	5.673	3.520		18	9	6.587	3.759
	19	1	5.291	3.312		3	9	6.049	3.935		18	17	6.418	3.625

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*
Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	19 0	6.299	3.595	Sept.	3 8	7.275	3.324	Sept.	18 16	7.447	2.074
	19 8	6.630	3.741		3 16	6.945	2.933		18 23	7.934	3.004
	19 16	6.422	3.574		3 23	7.095	3.420		19 7	8.004	2.596
	19 23	6.375	3.609		4 7	7.314	3.273		19 15	7.421	1.968
	20 7	6.670	3.719		4 15	6.937	2.852		19 22	8.012	2.951
	20 15	6.423	3.519		4 22	7.175	3.399		20 6	8.029	2.512
	20 22	6.450	3.618		5 6	7.350	3.218		20 13	7.463	3.117
	21 6	6.709	3.694		5 14	6.925	2.767		20 21	8.087	2.893
	21 14	6.421	3.461		5 21	7.253	3.374		21 5	8.050	2.424
	21 21	6.523	3.623		6 5	7.382	3.159		21 12	7.584	3.090
	22 5	6.744	3.664		6 13	6.909	2.680		21 20	8.159	2.832
	22 13	6.416	3.398		6 20	7.328	3.345		22 4	8.066	2.333
	22 20	6.595	3.625		7 4	7.411	3.097		22 11	7.701	3.059
	23 4	6.777	3.630		7 12	6.889	2.589		22 19	8.226	2.766
	23 12	6.408	3.333		7 19	7.400	3.311		23 3	8.077	2.238
23 19	6.665	3.622	8 3	7.436	3.030	23 10	7.816	3.023			
24 3	6.808	3.593	8 10	6.871	3.310	23 18	8.289	2.696			
24 11	6.397	3.264	8 18	7.469	3.274	24 2	8.083	2.141			
24 18	6.732	3.615	9 2	7.457	2.960	24 9	7.928	2.982			
25 2	6.836	3.552	9 9	6.980	3.304	24 17	8.349	2.623			
25 10	6.383	3.191	9 17	7.535	3.232	25 1	8.085	2.040			
25 17	6.797	3.604	10 1	7.475	2.887	25 8	8.037	2.938			
26 1	6.861	3.506	10 8	7.087	3.294	25 16	8.404	2.545			
26 9	6.365	3.115	10 16	7.598	3.186	26 0	8.082	1.937			
26 16	6.861	3.589	11 0	7.489	2.809	26 7	8.143	2.889			
27 0	6.883	3.457	11 7	7.192	3.279	26 15	8.454	2.464			
27 7	6.378	3.436	11 15	7.658	3.136	26 23	8.073	1.830			
27 15	6.922	3.570	11 23	7.499	2.729	27 6	8.245	2.835			
27 23	6.902	3.404	12 6	7.294	3.259	27 14	8.500	2.379			
28 6	6.474	3.449	12 14	7.714	3.082	27 22	8.059	1.721			
28 14	6.980	3.547	12 22	7.504	2.645	28 5	8.343	2.777			
28 22	6.918	3.348	13 5	7.394	3.236	28 13	8.541	2.291			
29 5	6.568	3.457	13 13	7.767	3.024	28 21	8.040	1.609			
29 13	7.036	3.520	13 21	7.506	2.557	29 4	8.438	2.715			
29 21	6.931	3.288	14 4	7.491	3.208	29 12	8.578	2.198			
30 4	6.661	3.461	14 12	7.817	2.962	29 20	8.015	1.494			
30 12	7.090	3.489	14 20	7.503	2.466	30 3	8.529	2.649			
30 20	6.941	3.224	15 3	7.586	3.176	30 11	8.609	2.103			
31 3	6.752	3.461	15 11	7.862	2.897	30 19	7.985	1.377			
31 11	7.141	3.454	15 19	7.496	2.373	Oct.	1 2	8.615	2.578		
Sept.	31 19	6.947	3.156	16 2	7.677	3.139	1 10	8.636	2.004		
	1 2	6.841	3.457	16 10	7.904	2.827	1 17	8.025	2.892		
	1 10	7.189	3.415	16 18	7.484	2.276	2 1	8.698	2.504		
	1 18	6.950	3.085	17 1	7.766	3.099	2 9	8.657	1.901		
	2 1	6.928	3.449	17 9	7.941	2.754	2 16	8.159	2.847		
	2 9	7.233	3.371	17 17	7.468	2.176	3 0	8.776	2.425		
	2 17	6.949	3.011	18 0	7.852	3.054	3 8	8.673	1.796		
	3 0	7.013	3.437	18 8	7.975	2.677	3 15	8.289	2.797		

PHOBOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*
 Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	3	23	8.849	2.343	Oct.	19	7	9.286	0.561	Nov.	3	14	10.886	1.124
	4	7	8.683	1.687		19	14	9.612	2.076		3	22	10.715	0.119
	4	14	8.416	2.743		19	22	9.841	1.309		4	5	10.333	1.924
	4	22	8.918	2.256		20	6	9.260	0.427		4	13	10.981	0.993
	5	6	8.688	1.576		20	13	9.727	1.980		4	21	10.723	-0.028
	5	13	8.539	2.684		20	21	9.884	1.188		5	4	10.502	1.816
	5	21	8.982	2.166		21	5	9.227	0.291		5	12	11.069	0.859
	6	5	8.688	1.462		21	12	9.837	1.881		5	20	10.723	-0.177
	6	12	8.658	2.621		21	20	9.920	1.064		6	3	10.665	1.703
	6	20	9.041	2.072		22	4	9.187	0.153		6	11	11.150	0.722
	7	4	8.681	1.345		22	11	9.941	1.777		6	19	10.714	-0.328
	7	11	8.774	2.554		22	19	9.949	0.937		7	2	10.822	1.586
	7	19	9.094	1.975		23	2	9.280	2.385		7	10	11.223	0.582
	8	3	8.669	1.226		23	10	10.039	1.670		7	18	10.697	-0.480
	8	10	8.885	2.482		23	18	9.972	0.808		8	1	10.973	1.465
	8	18	9.143	1.874		24	1	9.442	2.303		8	9	11.288	0.438
	9	2	8.650	1.104		24	9	10.132	1.558		8	17	10.671	-0.633
	9	9	8.992	2.406		24	17	9.988	0.676		9	0	11.118	1.340
	9	17	9.186	1.769		25	0	9.599	2.218		9	8	11.346	0.292
	10	1	8.625	0.980		25	8	10.219	1.443		9	16	10.636	-0.788
	10	8	9.095	2.326		25	16	9.997	0.541		9	23	11.257	1.211
	10	16	9.223	1.661		25	23	9.752	2.127		10	7	11.395	0.143
	11	0	8.594	0.853		26	7	10.299	1.325		10	15	10.592	-0.943
	11	7	9.193	2.241		26	15	9.998	0.405		10	22	11.389	1.078
	11	15	9.255	1.550		26	22	9.901	2.032		11	6	11.436	-0.008
	11	23	8.557	0.725		27	6	10.374	1.203		11	13	10.606	1.955
	12	6	9.287	2.153		27	14	9.992	0.265		11	21	11.513	0.941
	12	14	9.281	1.436		27	21	10.044	1.933		12	5	11.468	-0.161
	12	21	8.679	2.623		28	5	10.441	1.078		12	12	10.808	1.842
	13	5	9.375	2.060		28	13	9.979	0.124		12	20	11.631	0.801
	13	13	9.301	1.319		28	20	10.182	1.830		13	4	11.492	-0.316
	13	20	8.825	2.558		29	4	10.502	0.949		13	11	11.004	1.724
	14	4	9.458	1.964		29	12	9.957	-0.018		13	19	11.741	0.657
	14	12	9.314	1.199		29	19	10.314	1.722		14	3	11.506	-0.474
	14	19	8.967	2.489		30	3	10.556	0.817		14	10	11.194	1.601
	15	3	9.536	1.863		30	11	9.928	-0.163		14	18	11.842	0.510
	15	11	9.322	1.076		30	18	10.441	1.610		15	2	11.511	-0.633
	15	18	9.105	2.415		31	2	10.603	0.683		15	9	11.379	1.474
	16	2	9.609	1.760		31	10	9.891	-0.308		15	17	11.936	0.360
	16	10	9.323	0.951		31	17	10.562	1.494		16	1	11.506	-0.793
	16	17	9.238	2.337	Nov.	1	1	10.642	0.545		16	8	11.557	1.343
	17	1	9.676	1.652		1	9	9.846	-0.456		16	16	12.022	0.207
	17	9	9.318	0.823		1	16	10.676	1.375		17	0	11.491	-0.955
	17	16	9.368	2.254		2	0	10.674	0.405		17	7	11.728	1.207
	18	0	9.737	1.541		2	7	9.981	2.127		17	15	12.098	0.051
	18	8	9.305	0.693		2	15	10.785	1.251		17	23	11.467	-1.117
	18	15	9.492	2.167		2	23	10.698	0.263		18	6	11.892	1.068
	18	23	9.792	1.427		3	6	10.160	2.028		18	14	12.166	-0.107

PHOBOS 2009**X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes elongation *est***

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Nov.	18	22	11.432	-1.281	Déc.	3	14	13.287	-1.562	Déc.	18	6	15.247	-1.666
	19	5	12.049	0.925		3	21	13.175	1.009		18	13	14.451	1.259
	19	13	12.224	-0.267		4	5	13.802	-0.376		18	21	15.510	-0.306
	19	21	11.387	-1.445		4	13	13.279	-1.740		19	5	15.270	-1.851
	20	4	12.198	0.777		4	20	13.394	0.848		19	12	14.742	1.087
	20	12	12.273	-0.430		5	4	13.905	-0.554		19	20	15.665	-0.492
	20	19	11.344	1.786		5	12	13.258	-1.918		20	4	15.275	-2.036
	21	3	12.339	0.627		5	19	13.603	0.683		20	11	15.020	0.912
	21	11	12.312	-0.594		6	3	13.996	-0.732		20	19	15.804	-0.679
	21	18	11.570	1.658		6	11	13.222	-2.095		21	3	15.262	-2.219
	22	2	12.472	0.473		6	18	13.803	0.515		21	10	15.287	0.734
	22	10	12.340	-0.761		7	2	14.075	-0.913		21	18	15.926	-0.866
	22	17	11.790	1.524		7	10	13.173	-2.272		22	2	15.229	-2.400
	23	1	12.596	0.316		7	17	13.993	0.344		22	9	15.539	0.554
	23	9	12.358	-0.928		8	1	14.141	-1.095		22	17	16.031	-1.053
	23	16	12.003	1.386		8	9	13.109	-2.449		23	1	15.177	-2.579
	24	0	12.711	0.156		8	16	14.172	0.169		23	8	15.777	0.373
	24	8	12.366	-1.097		9	0	14.193	-1.277		23	16	16.119	-1.240
24	15	12.209	1.244	9	7	13.252	1.437	24	0	15.105	-2.756			
24	23	12.817	-0.007	9	15	14.340	-0.008	24	7	16.000	0.190			
25	7	12.362	-1.267	9	23	14.232	-1.460	24	15	16.187	-1.427			
25	14	12.408	1.097	10	6	13.525	1.277	24	23	15.013	-2.929			
25	22	12.913	-0.173	10	14	14.496	-0.187	25	6	16.207	0.006			
26	6	12.347	-1.438	10	22	14.256	-1.643	25	14	16.236	-1.612			
26	13	12.599	0.947	11	5	13.790	1.113	25	21	15.153	1.447			
26	21	12.999	-0.341	11	13	14.639	-0.368	26	5	16.397	-0.179			
27	5	12.320	-1.609	11	21	14.266	-1.826	26	13	16.265	-1.796			
27	12	12.782	0.793	12	4	14.046	0.945	26	20	15.473	1.274			
27	20	13.075	-0.511	12	12	14.770	-0.551	27	4	16.570	-0.365			
28	4	12.281	-1.780	12	20	14.260	-2.009	27	12	16.273	-1.977			
28	11	12.956	0.635	13	3	14.291	0.774	27	19	15.780	1.099			
28	19	13.139	-0.683	13	11	14.887	-0.735	28	3	16.723	-0.550			
29	3	12.230	-1.952	13	19	14.238	-2.191	28	11	16.259	-2.157			
29	10	13.122	0.474	14	2	14.525	0.600	28	18	16.071	0.922			
29	18	13.193	-0.857	14	10	14.990	-0.920	29	2	16.857	-0.735			
30	1	12.218	1.614	14	18	14.200	-2.372	29	10	16.224	-2.333			
30	9	13.278	0.309	15	1	14.748	0.424	29	17	16.346	0.743			
30	17	13.235	-1.031	15	9	15.078	-1.106	30	1	16.971	-0.919			
Déc.	1	0	12.469	1.470	15	17	14.145	-2.551	30	9	16.165	-2.507		
	1	8	13.425	0.141	16	0	14.958	0.244	30	16	16.604	0.563		
1	16	13.265	-1.207	16	8	15.150	-1.293	31	0	17.063	-1.101			
1	23	12.712	1.320	16	16	14.073	-2.729	31	8	16.083	-2.677			
2	7	13.561	-0.029	16	23	15.156	0.063	31	15	16.844	0.383			
2	15	13.282	-1.384	17	7	15.207	-1.480	31	23	17.133	-1.282			
2	22	12.948	1.167	17	14	14.150	1.427							
3	6	13.687	-0.201	17	22	15.340	-0.121							

DÉIMOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations est

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	3	12.074	-5.617	Mars	2	21	14.228	0.932	Mai	2	15	13.525	7.159
	2	10	12.121	-5.310		4	3	14.195	0.656		3	21	13.544	6.711
	3	16	12.220	-5.335		5	10	14.231	1.521		5	3	13.481	6.215
	4	22	12.242	-5.339		6	16	14.255	1.241		6	10	13.469	7.270
	6	5	12.337	-5.010		7	22	14.200	0.942		7	16	13.461	6.800
	7	11	12.407	-5.042		9	5	14.263	1.835		8	22	13.371	6.293
	8	18	12.420	-4.646		10	11	14.266	1.535		10	5	13.408	7.359
	10	0	12.539	-4.703		11	18	14.219	2.432		11	11	13.370	6.876
	11	6	12.581	-4.742		13	0	14.280	2.134		12	18	13.323	7.891
	12	13	12.637	-4.325		14	6	14.257	1.811		14	0	13.338	7.435
	13	19	12.727	-4.388		15	13	14.242	2.736		15	6	13.275	6.936
	15	1	12.742	-4.439		16	19	14.279	2.415		16	13	13.276	7.965
	16	8	12.838	-3.996		18	1	14.234	2.075		17	19	13.265	7.495
	17	14	12.903	-4.070		19	8	14.250	3.021		19	2	13.186	8.463
	18	21	12.910	-3.568		20	14	14.262	2.683		20	8	13.227	8.026
	20	3	13.026	-3.663		21	20	14.194	2.318		21	14	13.185	7.536
	21	9	13.060	-3.749		23	3	14.239	3.292		22	21	13.162	8.524
	22	16	13.108	-3.222		24	9	14.231	2.931		24	3	13.173	8.067
	23	22	13.195	-3.328		25	16	14.168	3.896		25	9	13.100	7.568
25	4	13.203	-3.425	26	22	14.217	3.544	26	16	13.136	8.564			
26	11	13.288	-2.875	28	4	14.182	3.162	27	22	13.114	8.098			
27	17	13.348	-2.990	29	11	14.154	4.151	29	5	13.074	9.027			
29	0	13.338	-2.391	30	17	14.178	3.777	30	11	13.104	8.593			
30	6	13.450	-2.524	31	23	14.121	3.378	31	17	13.054	8.114			
31	12	13.484	-2.656	Avril	2	6	14.125	4.385	Juin	2	0	13.072	9.053	
Févr.	1	19	13.507	-2.029	3	12	14.126	3.996	3	6	13.073	8.610		
	3	1	13.596	-2.177	4	18	14.045	3.570	4	13	13.020	9.474		
	4	7	13.601	-2.322	6	1	14.083	4.605	5	19	13.071	9.069		
	5	14	13.660	-1.670	7	7	14.061	4.191	7	1	13.038	8.609		
	6	20	13.720	-1.832	8	14	13.994	5.203	8	8	13.050	9.488		
	8	2	13.702	-1.993	9	20	14.030	4.803	9	14	13.068	9.066		
	9	9	13.793	-1.315	11	2	13.981	4.370	10	21	13.010	9.863		
	10	15	13.828	-1.490	12	9	13.953	5.403	12	3	13.080	9.484		
	11	22	13.817	-0.777	13	15	13.961	4.983	13	9	13.063	9.056		
	13	4	13.907	-0.963	14	21	13.892	4.532	14	16	13.074	9.858		
	14	10	13.916	-1.158	16	4	13.898	5.583	15	22	13.108	9.470		
	15	17	13.936	-0.416	17	10	13.884	5.148	17	4	13.060	9.034		
	16	23	14.002	-0.620	18	17	13.793	6.165	18	11	13.137	9.840		
	18	5	13.985	-0.831	19	23	13.834	5.749	19	17	13.140	9.446		
	19	12	14.038	-0.064	21	5	13.795	5.288	21	0	13.151	10.164		
	20	18	14.077	-0.285	22	12	13.743	6.330	22	6	13.204	9.813		
	22	0	14.038	-0.515	23	18	13.760	5.890	23	12	13.170	9.407		
	23	7	14.119	0.279	25	0	13.694	5.415	24	19	13.254	10.134		
	24	13	14.136	0.041	26	7	13.686	6.474	26	1	13.272	9.771		
25	20	14.109	0.855	27	13	13.675	6.017	27	8	13.289	10.404			
27	2	14.183	0.613	28	19	13.586	5.523	28	14	13.359	10.087			
28	8	14.174	0.353	30	2	13.618	6.599	29	20	13.341	9.722			
Mars	1	15	14.178	1.196	Mai	1	8	13.584	6.127	Juill.	1	3	13.432	10.354

DÉIMOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	2 9	13.465	10.032	Sept.	1 4	18.339	8.094	Oct.	31 20	27.115	2.587
	3 16	13.490	10.567		2 10	18.533	8.192		Nov.	2 3	27.464
	4 22	13.576	10.291		3 16	18.619	8.258	3 9	27.717	1.726	
	6 4	13.577	9.968		4 23	18.810	7.803	4 15	27.837	2.196	
	7 11	13.672	10.497		6 5	18.978	7.911	5 22	28.204	0.817	
	8 17	13.726	10.221		7 11	19.043	7.993	7 4	28.468	1.302	
	10 0	13.754	10.648	8 18	19.282	7.500	8 10	28.598	1.791		
	11 6	13.861	10.419	10 0	19.431	7.623	9 17	28.979	0.360		
	12 12	13.877	10.136	11 7	19.527	7.028	10 23	29.253	0.864		
	13 19	13.979	10.561	12 13	19.763	7.190	12 5	29.400	1.386		
	15 1	14.052	10.327	13 19	19.888	7.328	13 12	29.784	-0.111		
	16 8	14.081	10.645	15 2	20.033	6.695	14 18	30.083	0.421		
	17 14	14.210	10.461	16 8	20.248	6.872	16 0	30.240	0.971		
18 20	14.246	10.226	17 14	20.354	7.025	17 7	30.633	-0.588			
20 3	14.351	10.536	18 21	20.544	6.355	18 13	30.948	-0.027			
21 9	14.443	10.349	20 3	20.741	6.545	19 19	31.131	0.545			
22 16	14.472	10.551	21 9	20.829	6.720	21 2	31.517	-1.069			
23 22	14.622	10.412	22 16	21.060	6.004	22 8	31.860	-0.490			
25 4	14.683	10.229	23 22	21.244	6.214	23 14	32.065	0.119			
26 11	14.781	10.415	25 4	21.311	6.406	24 21	32.440	-1.565			
27 17	14.900	10.281	26 11	21.588	5.648	26 3	32.816	-0.952			
28 23	14.925	10.097	27 17	21.753	5.875	27 9	33.047	-0.323			
30 6	15.095	10.270	29 0	21.855	5.024	28 16	33.406	-2.059			
31 12	15.181	10.136	30 6	22.122	5.285	29 22	33.811	-1.426			
Août	1 19	15.264	10.198	Oct.	1 12	22.278	5.530	Déc.	1 4	34.083	-0.767
	3 1	15.414	10.113		2 19	22.411	4.637		2 11	34.404	-2.560
	4 7	15.465	9.983	4 1	22.670	4.912	3 17	34.856	-1.903		
	5 14	15.620	10.026	5 7	22.813	5.183	4 23	35.159	-1.214		
	6 20	15.734	9.944	6 14	22.979	4.238	6 6	35.443	-3.066		
	8 3	15.796	9.876	7 20	23.231	4.538	7 12	35.936	-2.378		
	9 9	15.976	9.842	9 2	23.362	4.825	8 18	36.287	-1.671		
	10 15	16.062	9.767	10 9	23.564	3.837	10 1	36.511	-3.561		
	11 22	16.186	9.676	11 15	23.805	4.153	11 7	37.053	-2.858		
	13 4	16.339	9.648	12 21	23.932	4.466	12 13	37.455	-2.116		
	14 10	16.392	9.579	14 4	24.160	3.427	13 19	37.703	-1.355		
	15 17	16.582	9.464	15 10	24.401	3.764	15 2	38.200	-3.322		
	16 23	16.705	9.443	16 16	24.517	4.102	16 8	38.648	-2.560		
18 6	16.787	9.217	17 23	24.778	3.008	17 14	38.956	-1.769			
19 12	16.982	9.242	19 5	25.014	3.371	18 21	39.350	-3.774			
20 18	17.074	9.228	20 11	25.128	3.729	20 3	39.864	-2.988			
22 1	17.220	8.977	21 18	25.414	2.587	21 9	40.219	-2.165			
23 7	17.383	9.008	23 0	25.649	2.967	22 16	40.499	-4.204			
24 13	17.450	9.007	24 6	25.762	3.357	23 22	41.068	-3.384			
25 20	17.652	8.724	25 13	26.071	2.154	25 4	41.486	-2.546			
27 2	17.793	8.767	26 19	26.312	2.563	26 10	41.749	-1.671			
28 9	17.874	8.377	28 1	26.421	2.974	27 17	42.242	-3.754			
29 15	18.091	8.463	29 8	26.756	1.717	28 23	42.724	-2.880			
30 21	18.203	8.517	30 14	26.997	2.149	30 5	43.042	-1.988			

DÉIMOS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongation *est*

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				X	Y	Date				X	Y	Date				X	Y
Mois	j	h	"	"	"	Mois	j	h	"	"	"	Mois	j	h	"	"	
Déc.	31	12	43.359	-4.065		Avril	3	11	5.440	0.693							

SATELLITES DE JUPITER

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

IO	II. 110
EUROPE	II. 113
GANYMÈDE	II. 115
CALLISTO	II. 116

IO 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	1	13	-93.350	-22.606	Févr.	11	6	-91.887	-28.096	Mars	24	0	-95.865	-34.498	
	2	10	93.586	22.710		12	4	91.646	28.248		24	21	95.238	34.346	
	3	7	-93.258	-22.730		13	1	-92.066	-28.473		25	18	-95.928	-34.676	
	4	4	93.154	22.753		13	22	91.750	28.440		26	16	95.524	34.661	
	5	2	-93.032	-23.067		14	19	-91.997	-28.613		27	13	-96.454	-35.078	
	5	23	93.218	23.162		15	17	91.743	28.753		28	10	95.820	34.922	
	6	20	-92.939	-23.193		16	14	-92.212	-28.994		29	7	-96.541	-35.264	
	7	18	92.809	23.448		17	11	91.854	28.948		30	5	96.118	35.232	
	8	15	-92.750	-23.533		18	8	-92.147	-29.136		31	2	-97.089	-35.665	
	9	12	92.891	23.619		19	6	91.882	29.263		31	23	96.443	35.502	
	10	9	-92.661	-23.661		20	3	-92.395	-29.520		Avril	1	20	-97.201	-35.859
	11	7	92.518	23.907		21	0	92.001	29.462			2	18	96.757	35.808
	12	4	-92.510	-24.005		21	21	-92.337	-29.664			3	15	-97.762	-36.256
	13	1	92.601	24.080		22	19	92.059	29.779			4	12	97.115	36.090
	13	22	-92.419	-24.134		23	16	-92.620	-30.052			5	9	-97.902	-36.460
	14	20	92.268	24.371		24	13	92.188	29.981		6	7	97.436	36.389	
	15	17	-92.304	-24.481		25	10	-92.568	-30.197		7	4	-98.479	-36.854	
	16	14	92.350	24.546		26	8	92.280	30.300		8	1	97.828	36.683	
17	11	-92.217	-24.612	27	5	-92.882	-30.588	8	22	-98.650	-37.067				
18	9	92.053	24.839	28	2	92.419	30.506	9	20	98.157	36.975				
19	6	-92.141	-24.963	Mars	28	23	-92.840	-30.736	10	17	-99.234	-37.454			
20	3	92.136	25.017		1	21	92.538	30.825	11	14	98.589	37.284			
21	0	-92.052	-25.095		2	18	-93.188	-31.131	12	11	-99.438	-37.679			
21	22	91.880	25.312		3	15	92.691	31.036	13	9	98.919	37.565			
22	19	-92.013	-25.449		4	12	-93.155	-31.281	14	6	-100.034	-38.061			
23	16	91.963	25.492	5	10	92.841	31.357	15	3	99.391	37.889				
24	13	-91.928	-25.583	6	7	-93.530	-31.678	16	0	-100.274	-38.299				
25	11	91.741	25.789	7	4	93.008	31.572	16	22	99.722	38.160				
26	8	-91.927	-25.941	8	1	-93.510	-31.831	17	19	-100.869	-38.670				
27	5	91.827	25.972	8	23	93.183	31.893	18	16	100.240	38.501				
28	2	-91.841	-26.076	9	20	-93.917	-32.231	19	13	-101.150	-38.922				
29	0	91.646	26.272	10	17	93.365	32.114	20	11	100.564	38.758				
29	21	-91.876	-26.437	11	14	-93.909	-32.388	21	8	-101.749	-39.285				
30	18	91.733	26.456	12	12	93.568	32.436	22	5	101.130	39.116				
31	15	-91.794	-26.574	13	9	-94.340	-32.789	23	2	-102.072	-39.551				
Févr.	1	13	91.586	26.759	14	6	93.768	32.663	24	0	101.446	39.359			
	2	10	-91.867	-26.939	15	3	-94.347	-32.950	24	21	-102.663	-39.901			
	3	7	91.676	26.945	16	1	93.991	32.983	25	18	102.065	39.737			
	4	4	-91.785	-27.077	16	22	-94.808	-33.353	26	15	-103.033	-40.183			
	5	2	91.568	27.251	17	19	94.212	33.217	27	13	102.365	39.962			
	5	23	-91.894	-27.445	18	16	-94.831	-33.519	28	10	-103.618	-40.520			
	6	20	91.662	27.439	19	14	94.461	33.537	29	7	103.038	40.359			
	7	17	-91.817	-27.584	20	11	-95.314	-33.922	30	4	-104.039	-40.820			
	8	15	91.586	27.746	21	8	94.704	33.779	Mai	1	2	103.320	40.566		
	9	12	-91.962	-27.957	22	5	-95.356	-34.094		1	23	-104.606	-41.138		
	10	9	91.684	27.937	23	3	94.970	34.096		2	20	104.053	40.986		

IO 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	3	17	-105.080	-41.457	Juin	13	10	-119.030	-48.483	Juill.	24	2	-131.884	-52.450	
	4	15	104.306	41.168		14	7	118.522	48.303		25	0	131.547	52.078	
	5	12	-105.629	-41.757		15	5	-119.447	-48.574		25	21	-132.365	-52.407	
	6	9	105.101	41.611		16	2	119.233	48.509		26	18	132.258	52.325	
	7	6	-106.161	-42.097		16	23	-120.344	-49.009		27	15	-132.721	-52.510	
	8	3	105.376	41.849		17	20	119.901	48.850		28	12	132.403	52.344	
	9	1	-106.680	-42.372		18	17	-120.700	-49.221		29	10	-132.938	-52.354	
	9	22	106.187	42.237		19	15	120.480	48.987		30	7	132.909	52.298	
	10	19	-107.273	-42.734		20	12	-121.629	-49.499		31	4	-133.412	-52.495	
	11	16	106.527	42.498		21	9	121.259	49.365		Août	1	1	133.172	52.355
	12	14	-107.763	-42.985		22	6	-122.086	-49.744			1	23	-133.352	-52.222
	13	11	107.301	42.859		23	4	121.689	49.426			2	20	133.404	52.194
	14	8	-108.422	-43.371		24	1	-122.876	-49.950			3	17	-133.940	-52.398
	15	5	107.712	43.145		24	22	122.575	49.838			4	14	133.785	52.288
	16	3	-108.867	-43.592		25	19	-123.441	-50.230			5	11	-133.949	-52.344
	17	0	108.448	43.479		26	16	122.918	50.027			6	9	133.728	52.010
17	21	-109.596	-44.002	27	14	-124.071	-50.355	7	6	-134.306		-52.226			
18	18	108.932	43.791	28	11	123.846	50.269	8	3	134.226		52.142			
19	16	-109.997	-44.192	29	8	-124.743	-50.669	9	0	-134.429		-52.209			
20	13	109.615	44.091	30	5	124.301	50.493	9	21	134.139		52.042			
21	10	-110.800	-44.629	Juill.	1	3	-125.204	-50.710	10	19		-134.495	-51.974		
22	7	110.178	44.431		2	0	125.050	50.647	11	16		134.498	51.920		
23	5	-111.140	-44.780		2	21	-125.989	-51.060	12	13		-134.733	-51.996		
24	2	110.807	44.695		3	18	125.619	50.908	13	10		134.522	51.858		
24	23	-112.020	-45.245		4	16	-126.259	-51.009	14	8		-134.511	-51.649		
25	20	111.452	45.064		5	13	126.183	50.972	15	5	134.589	51.623			
26	17	-112.370	-45.495		6	10	-127.157	-51.394	16	2	-134.861	-51.710			
27	15	112.009	45.286		7	7	126.869	51.269	16	23	134.730	51.602			
28	12	-113.260	-45.850		8	4	-127.495	-51.548	17	20	-134.636	-51.548			
29	9	112.741	45.685		9	2	127.224	51.234	18	18	134.506	51.256			
30	6	-113.688	-46.127		9	23	-128.242	-51.669	19	15	-134.807	-51.353			
Juin	31	4	113.224		45.863	10	20	128.029	51.569	20	12	134.755	51.274		
	1	1	-114.506		-46.439	11	17	-128.693	-51.858	21	9	-134.697	-51.232		
	1	22	114.045		46.294	12	14	128.265	51.669	22	6	134.430	51.072		
	2	19	-115.022		-46.746	13	12	-129.223	-51.877	23	4	-134.577	-50.931		
	3	17	114.436		46.420	14	9	129.093	51.805	24	1	134.604	50.882		
	4	14	-115.759	-47.012	15	6	-129.792	-52.103	24	22	-134.573	-50.851			
	5	11	115.352	46.883	16	3	129.444	51.941	25	19	134.390	50.723			
	6	8	-116.360	-47.347	17	1	-130.096	-52.018	26	17	-134.170	-50.448			
	7	5	115.721	47.123	17	22	130.040	51.970	27	14	134.274	50.430			
	8	3	-117.002	-47.560	18	19	-130.780	-52.279	28	11	-134.278	-50.412			
	9	0	116.659	47.452	19	16	130.514	52.144	29	8	134.169	50.314			
	9	21	-117.700	-47.928	20	13	-130.904	-52.311	30	5	-133.792	-50.152			
	10	18	117.122	47.724	21	11	130.865	52.063	31	3	133.779	49.928			
	11	16	-118.238	-48.083	22	8	-131.641	-52.381	Sept.	1	0	-133.809	-49.920		
	12	13	117.954	47.995	23	5	131.453	52.272		1	21	133.783	49.855		

10 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date							
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"				
Sept.	2	18	-133.431	-49.705	Oct.	13	11	-121.389	-43.474	Nov.	23	4	-106.039	-39.496	
	3	15	133.191	49.562		14	8	121.746	43.616		24	1	106.706	39.824	
	4	13	-133.182	-49.384		15	5	-120.898	-43.345		24	22	-105.645	-39.515	
	5	10	133.230	49.351		16	2	121.031	43.410		25	19	106.060	39.751	
	6	7	-132.910	-49.215		17	0	-119.957	-42.970		26	17	-104.819	-39.289	
	7	4	132.747	49.104		17	21	120.375	43.141		27	14	105.519	39.635	
	8	2	-132.398	-48.810		18	18	-119.545	-42.882		28	11	-104.466	-39.330	
	8	23	132.530	48.811		19	15	119.738	42.975		29	8	104.904	39.580	
	9	20	-132.233	-48.686		20	12	-118.564	-42.595		30	6	-103.642	-39.107	
	10	17	132.148	48.609		21	10	118.988	42.688		Déc.	1	3	104.364	39.466
	11	14	-131.490	-48.353		22	7	-118.165	-42.437			2	0	-103.321	-39.165
	12	12	131.683	48.239		23	4	118.421	42.560			2	21	103.783	39.429
	13	9	-131.416	-48.129		24	1	-117.263	-42.191			3	19	-102.503	-38.946
	14	6	131.406	48.085		24	23	117.585	42.256			4	16	103.248	39.319
15	3	-130.772	-47.842	25	20	-116.776	-42.015	5	13	-102.215		-39.022			
16	1	130.712	47.647	26	17	117.088	42.164	6	10	102.692		39.296			
16	22	-130.464	-47.548	27	14	-115.943	-41.804	7	8	-101.408		-38.806			
17	19	130.533	47.537	28	12	116.183	41.849	8	5	102.167		39.191			
18	16	-129.925	-47.310	29	9	-115.379	-41.614	9	2	-101.146		-38.897			
19	13	129.776	47.222	30	6	115.749	41.791	9	23	101.640		39.182			
20	11	-129.398	-46.953	Nov.	31	3	-114.618	-41.441	10	21		-100.352	-38.686		
21	8	129.542	46.975		1	1	114.782	41.465	11	18		101.129	39.082		
22	5	-128.954	-46.760		1	22	-113.990	-41.239	12	15		-100.118	-38.792		
23	2	128.884	46.707		2	19	114.409	41.440	13	12	100.620	39.084			
24	0	-128.224	-46.348		3	16	-113.290	-41.097	14	10	-99.344	-38.587			
24	21	128.445	46.404		4	13	113.477	41.217	15	7	100.128	38.991			
25	18	-127.882	-46.203		5	11	-112.607	-40.886	16	4	-99.130	-38.704			
26	15	127.881	46.182		6	8	113.079	41.112	17	1	99.641	39.005			
27	13	-126.964	-45.742		7	5	-111.971	-40.777	17	23	-98.376	-38.505			
28	10	127.259	45.831		8	2	112.201	40.919	18	20	99.171	38.918			
29	7	-126.713	-45.643		9	0	-111.244	-40.559	19	17	-98.185	-38.635			
30	4	126.789	45.656		9	21	111.759	40.808	20	14	98.698	38.940			
Oct.	1	1	-125.871		-45.336	10	18	-110.661	-40.479	21	12	-97.458	-38.443		
	1	23	125.995		45.262	11	15	110.938	40.643	22	9	98.252	38.861		
	2	20	-125.469	-45.086	12	13	-109.897	-40.256	23	6	-97.283	-38.582			
	3	17	125.614	45.131	13	10	110.459	40.527	24	3	97.797	38.892			
	4	14	-124.720	-44.826	14	7	-109.371	-40.204	25	1	-96.582	-38.397			
	5	12	124.670	44.701	15	4	109.684	40.387	25	22	97.379	38.821			
	6	9	-124.157	-44.535	16	2	-108.581	-39.979	26	19	-96.424	-38.545			
	7	6	124.377	44.615	16	23	109.180	40.269	27	16	96.934	38.858			
	8	3	-123.497	-44.320	17	20	-108.101	-39.952	28	14	-95.755	-38.368			
	9	0	123.498	44.323	18	17	108.453	40.154	29	11	96.545	38.795			
	9	22	-122.795	-43.998	19	15	-107.292	-39.725	30	8	-95.609	-38.524			
	10	19	123.081	44.107	20	12	107.929	40.035	31	5	96.113	38.839			
	11	16	-122.222	-43.827	21	9	-106.859	-39.723							
	12	13	122.287	43.860	22	6	107.241	39.942							

EUROPE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	1 21	-149.324	-35.055	Mars	22 23	153.125	54.389	Juin	10 23	-186.077	-75.477	
	3 16	148.363	35.487		24 18	-151.029	-53.957		12 18	189.864	77.034	
	5 11	-148.774	-35.974		26 13	154.049	55.421		14 12	-188.169	-76.355	
	7 5	147.894	36.144		28 7	-151.851	-54.793		16 7	191.959	77.898	
	9 0	-148.143	-36.590		30 2	155.110	56.342		18 1	-190.237	-77.192	
	10 19	147.519	37.085		31 21	-152.867	-55.827		19 20	193.945	78.684	
	12 14	-147.652	-37.500		Avril	2 15	156.131		57.236	21 15	-192.383	-78.030
	14 8	147.229	37.775			4 10	-153.910		-56.715	23 9	195.913	79.428
	16 3	-147.194	-38.146			6 5	157.320		58.310	25 4	-194.549	-78.834
17 22	146.909	38.708	8 0	-154.933		-57.711	26 23	197.912	80.145			
19 17	-146.765	-39.046	9 18	158.541		59.249	28 17	-196.609	-79.559			
21 11	146.794	39.432	11 13	-156.204		-58.654	30 12	199.929	80.832			
23 6	-146.483	-39.721	13 8	159.734		60.282	Juill.	2 6	-198.616	-80.225		
25 0	146.549	40.116	15 2	-157.437		-59.571		4 1	201.788	81.417		
26 19	-146.165	-40.382	16 21	161.159		61.268		5 19	-200.498	-80.803		
Févr.	28 14	146.598	41.113	18 16	-158.718	-60.601	7 14	203.604	81.947			
	30 9	-146.010	-41.316	20 10	162.532	62.222	9 9	-202.361	-81.322			
	1 3	146.525	41.829	22 5	-160.184	-61.574	11 3	205.238	82.365			
	2 22	-145.868	-42.007	24 0	163.974	63.285	12 22	-204.193	-81.802			
	4 17	146.635	42.818	25 18	-161.614	-62.519	14 17	206.826	82.711			
	6 12	-145.781	-42.931	Mai	27 13	165.559	64.286	16 11	-205.944	-82.211		
	8 6	146.735	43.566		29 8	-163.124	-63.569	18 6	208.366	83.014		
	10 1	-145.816	-43.653		1 2	167.099	65.253	20 0	-207.503	-82.505		
	11 20	146.906	44.544		2 21	-164.794	-64.571	21 19	209.817	83.245		
13 15	-145.790	-44.563	4 16		168.744	66.324	23 13	-208.966	-82.725			
15 9	147.181	45.328	6 10		-166.433	-65.544	25 8	211.037	83.349			
17 4	-146.007	-45.319	8 5		170.495	67.335	27 2	-210.205	-82.824			
18 22	147.420	46.091	10 0		-168.114	-66.587	28 21	212.149	83.379			
20 17	-146.120	-46.035	11 18		172.218	68.318	30 15	-211.327	-82.845			
22 12	147.861	47.112	13 13	-169.987	-67.611	Août	1 10	213.012	83.281			
Mars	24 7	-146.446	-47.009	15 8	173.996		69.361	3 4	-212.205	-82.743		
	26 1	148.276	47.911	17 2	-171.834		-68.605	4 23	213.748	83.109		
	27 20	-146.755	-47.764	18 21	175.929	70.383	6 18	-213.069	-82.600			
	1 15	148.775	48.919	20 15	-173.657	-69.570	8 12	214.216	82.812			
	3 10	-147.131	-48.719	22 10	177.798	71.356	10 7	-213.691	-82.357			
	5 4	149.372	49.757	24 5	-175.684	-70.639	12 2	214.587	82.452			
	6 23	-147.639	-49.516	26 0	179.667	72.347	13 20	-214.167	-82.044			
	8 18	149.923	50.748	27 18	-177.727	-71.641	15 15	214.777	82.022			
	10 12	-148.104	-50.290	29 13	181.725	73.343	17 9	-214.368	-81.615			
12 7	150.701	51.624	31 7	-179.728	-72.601	19 4	214.818	81.528				
14 2	-148.774	-51.293	Juin	2 2	183.774	74.311	20 22	-214.416	-81.124			
15 20	151.370	52.456		3 21	-181.738	-73.566	22 17	214.572	80.926			
17 15	-149.442	-52.111		5 15	185.737	75.216	24 11	-214.188	-80.531			
19 10	152.261	53.513		7 10	-183.917	-74.540	26 6	214.180	80.275			
21 5	-150.152	-53.092		9 5	187.751	76.132	28 0	-213.811	-79.891			

EUROPE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Août	29 19	213.507	79.530	Oct.	11 9	194.319	69.197	Nov.	23 1	168.357	62.486
	31 13	-213.154	-79.160		13 4	-194.983	-69.471		24 19	-170.295	-63.389
Sept.	2 8	212.697	78.752	14 22	192.088	68.391	26 14	166.511	62.199		
	4 3	-212.428	-78.440	16 17	-193.017	-68.782	28 8	-168.336	-63.075		
	5 21	211.617	77.898	18 12	189.874	67.691	30 3	164.608	61.905		
7 16	-211.520	-77.665	20 6	-190.901	-68.084	Déc.	1 22	-166.599	-62.901		
9 11	210.442	77.058	22 1	187.726	67.003		3 17	162.757	61.685		
11 5	-210.500	-76.879	23 19	-188.755	-67.417		5 11	-164.833	-62.683		
13 0	209.150	76.191	25 14	185.473	66.318		7 6	161.074	61.496		
14 18	-209.223	-76.032	27 9	-186.562	-66.831	9 1	-163.062	-62.509			
16 13	207.741	75.317	29 3	183.179	65.657	10 19	159.343	61.297			
18 7	-207.843	-75.186	30 22	-184.539	-66.287	12 14	-161.489	-62.380			
20 2	206.115	74.404	Nov.	1 17	180.999	65.130	14 9	157.740	61.184		
21 20	-206.229	-74.297		3 11	-182.394	-65.734	16 3	-159.837	-62.229		
23 15	204.385	73.496		5 6	178.860	64.593	17 22	156.226	61.078		
25 10	-204.535	-73.463	7 0	-180.224	-65.204	19 17	-158.339	-62.165			
27 4	202.459	72.564	8 19	176.650	64.061	21 11	154.659	60.955			
28 23	-202.831	-72.634	10 14	-178.213	-64.817	23 6	-156.885	-62.094			
30 18	200.488	71.706	12 9	174.489	63.629	25 1	153.339	60.948			
Oct.	2 12	-201.061	-71.828	14 3	-176.205	-64.403	26 20	-155.411	-62.031		
	4 7	198.525	70.857	15 22	172.472	63.220	28 14	151.990	60.910		
6 1	-199.107	-71.004	17 16	-174.102	-63.979	30 9	-154.149	-62.035			
7 20	196.496	70.030	19 11	170.411	62.817						
9 14	-197.097	-70.206	21 6	-172.212	-63.705						

GANYMÈDE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	4	10	-236.798	-58.101	Mai	6	13	-267.860	-106.335	Sept.	5	1	-337.870	-125.557
	8	0	235.905	59.265		10	3	270.721	107.987		8	15	336.548	124.345
	11	14	-235.220	-60.430		13	17	-273.494	-109.572		12	5	-334.293	-122.869
	15	5	234.548	61.804		17	7	276.591	111.243		15	18	332.320	121.589
	18	19	-234.093	-62.999		20	21	-279.539	-112.822		19	8	-329.671	-120.094
	22	9	233.610	64.218		24	11	282.747	114.454		22	22	327.317	118.757
	26	0	-233.308	-65.592		28	1	-285.884	-116.025		26	12	-324.135	-117.217
Févr.	29	14	233.122	66.857	Juin	31	15	289.180	117.599	Oct.	30	1	321.538	115.985
	2	4	-232.981	-68.082		4	5	-292.471	-119.141		3	15	-318.032	-114.481
	5	18	232.995	69.372		7	19	295.780	120.618		7	5	315.290	113.315
	9	9	-233.063	-70.770		11	9	-299.129	-122.083		10	19	-311.430	-111.840
	12	23	233.276	72.079		14	23	302.505	123.477		14	9	308.564	110.785
	16	13	-233.619	-73.384		18	12	-305.776	-124.869		17	23	-304.564	-109.410
	20	3	233.947	74.692		22	2	309.275	126.197		21	12	301.595	108.488
	23	18	-234.579	-76.175		25	16	-312.384	-127.339		25	2	-297.615	-107.257
Mars	27	8	235.068	77.492	Juill.	29	6	315.839	128.524	Nov.	28	16	294.597	106.428
	2	22	-235.967	-78.900		2	20	-318.648	-129.418		1	6	-290.690	-105.346
	6	12	236.642	80.240		6	9	322.013	130.524		4	20	287.631	104.617
	10	3	-237.702	-81.761		9	23	-324.639	-131.219		8	10	-283.814	-103.673
	13	17	238.681	83.158		13	13	327.620	131.955		12	0	280.877	103.085
	17	7	-239.933	-84.603		17	2	-329.946	-132.496		15	14	-277.084	-102.235
	20	21	241.173	86.047		20	16	332.570	132.965		19	4	274.354	101.803
	24	11	-242.537	-87.492		24	6	-334.553	-133.159		22	18	-270.630	-101.047
	28	2	244.055	89.059		27	19	336.580	133.372		26	8	268.142	100.767
	31	16	-245.690	-90.553		31	9	-338.128	-133.292		29	23	-264.519	-100.074
Avril	4	6	247.390	92.062	Août	3	23	339.661	133.123	Déc.	3	13	262.284	99.932
	7	20	-249.276	-93.603		7	12	-340.509	-132.787		7	3	-258.855	-99.365
	11	10	251.141	95.122		11	2	341.594	132.376		10	17	256.763	99.309
	15	0	-253.293	-96.714		14	16	-341.705	-131.613		14	7	-253.569	-98.850
	18	15	255.320	98.273		18	5	342.279	131.064		17	21	251.629	98.871
	22	5	-257.751	-99.912		21	19	-341.673	-130.012		21	12	-248.688	-98.477
	25	19	260.045	101.476		25	8	341.594	129.215		25	2	246.933	98.572
	29	9	-262.599	-103.106		28	22	-340.400	-127.968		28	16	-244.277	-98.322
Mai	2	23	265.178	104.717	Sept.	1	12	339.650	126.887					

CALLISTO 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	7	8	-418.009	-103.785	Mai	13	16	479.835	190.082	Sept.	15	12	-588.127	-213.066
	15	18	410.190	107.527		22	2	-496.298	-198.290		23	19	572.176	205.302
	24	5	-413.341	-113.936		30	10	505.503	203.109		Oct.	2	3	-565.496
Févr.	1	15	407.705	117.826	Juin	7	19	-523.088	-210.999	10		11	546.693	194.321
	10	2	-412.702	-124.546		16	3	532.874	215.080	18		20	-537.995	-191.380
	18	12	409.319	128.611		24	12	-550.745	-222.061	27	4	518.451	185.143	
Mars	26	23	-416.038	-135.595	Juill.	2	19	559.422	224.652	Nov.	4	13	-509.083	-183.238
	7	9	415.054	139.905		11	3	-576.033	-230.046		12	22	490.454	178.330
	15	20	-423.657	-147.187		19	10	581.908	230.347		21	8	-481.647	-177.496
	24	6	424.877	151.697		27	18	-595.183	-233.239		29	17	464.670	173.818
Avril	1	16	-435.550	-159.300	Août	5	0	596.257	230.809	Déc.	8	3	-457.167	-173.997
	10	2	439.103	164.065		13	8	-604.645	-230.973		16	12	442.506	171.422
	18	12	-451.681	-171.944		21	14	599.455	225.742		24	23	-436.459	-172.313
	26	22	457.505	176.918		29	22	-602.160	-223.617					
Mai	5	8	-472.141	-185.054	Sept.	7	4	590.886	216.526					

SATELLITES DE SATURNE

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIMAS	II. 118
ENCELADE	II. 124
TÉTHYS	II. 128
DIONÉ	II. 131
RHÉA	II. 133
TITAN	II. 134
HYPÉRIION	II. 135
JAPET	II. 135

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	1 3	-28.508	-2.431	Janv.	22 8	29.239	2.747	Févr.	12 13	-29.739	-3.240
	1 15	27.930	2.535		22 19	-29.193	-2.737		13 0	30.119	3.054
	2 2	-28.501	-2.572		23 7	29.239	2.900		13 11	-29.543	-2.975
	2 13	28.141	2.357		23 18	-29.319	-2.903		13 23	30.222	3.234
	3 0	-28.454	-2.374		24 5	29.203	2.684		14 10	-29.790	-3.172
	3 12	28.196	2.505		24 17	-29.110	-3.037		14 22	29.985	3.380
	3 23	-28.639	-2.533		25 4	29.402	2.857		15 9	-29.688	-3.334
	4 10	28.086	2.298		25 15	-29.355	-2.847		15 20	30.282	3.168
	4 22	-28.506	-2.664		26 3	29.265	2.999		16 7	-29.714	-3.087
	5 9	28.340	2.463		26 14	-29.345	-3.002		16 19	30.244	3.336
5 20	-28.659	-2.483	27 1	29.443	2.801	17 6	-29.819	-3.273			
6 8	28.267	2.601	27 12	-29.267	-2.777	17 17	30.220	3.087			
6 19	-28.719	-2.632	28 0	29.506	2.964	18 5	-29.573	-3.422			
7 6	28.361	2.411	28 11	-29.458	-2.953	18 16	30.381	3.277			
7 17	-28.559	-2.421	28 22	29.362	2.731	19 3	-29.822	-3.195			
8 5	28.488	2.567	29 10	-29.311	-3.097	19 15	30.200	3.433			
8 16	-28.813	-2.588	29 21	29.624	2.914	20 2	-29.783	-3.367			
9 4	28.287	2.694	30 8	-29.448	-2.890	20 13	30.395	3.203			
9 15	-28.744	-2.727	30 20	29.550	3.066	21 0	-29.696	-3.099			
10 2	28.587	2.521	31 7	-29.502	-3.055	21 12	30.413	3.380			
10 13	-28.788	-2.533	Févr.	31 18	29.620	2.851	21 23	-29.865	-3.296		
11 1	28.585	2.668		1 5	-29.313	-2.811	22 10	30.288	3.112		
11 12	-28.914	-2.690		1 17	29.746	3.023	22 22	-29.682	-3.455		
11 23	28.563	2.464		2 4	-29.569	-2.998	23 9	30.504	3.312		
12 11	-28.715	-2.819		2 16	29.532	3.163	23 20	-29.819	-3.208		
12 22	28.760	2.629	3 3	-29.483	-3.151	24 8	30.379	3.477			
13 9	-28.964	-2.641	3 14	29.819	2.966	24 19	-29.844	-3.391			
13 21	28.627	2.765	4 1	-29.511	-2.926	25 6	30.473	3.229			
14 8	-28.960	-2.789	4 13	29.805	3.128	25 17	-29.642	-3.102			
14 19	28.814	2.578	5 0	-29.629	-3.101	26 5	30.546	3.416			
15 6	-28.893	-2.580	5 11	29.770	2.895	26 16	-29.878	-3.310			
15 18	28.880	2.733	5 23	-29.403	-3.243	27 3	30.320	3.129			
16 5	-29.087	-2.747	6 10	29.956	3.078	27 15	-29.759	-3.480			
16 16	28.745	2.515	6 21	-29.649	-3.036	28 2	30.590	3.339			
17 4	-28.950	-2.883	7 9	29.802	3.227	28 13	-29.781	-3.210			
17 15	29.011	2.689	7 20	-29.626	-3.200	Mars	1 1	30.520	3.513		
18 2	-29.092	-2.691	8 7	29.985	3.013		1 12	-29.872	-3.405		
18 14	28.945	2.833	8 18	-29.543	-2.954		1 23	30.513	3.246		
19 1	-29.153	-2.848	9 6	30.030	3.184		2 11	-29.609	-3.561		
19 12	29.019	2.632	9 17	-29.725	-3.141		2 22	30.641	3.443		
19 23	-28.974	-2.623	10 4	29.891	2.934	3 9	-29.855	-3.313			
20 11	29.153	2.796	10 16	-29.561	-3.292	3 21	30.428	3.602			
20 22	-29.234	-2.799	11 3	30.136	3.126	4 8	-29.802	-3.494			
21 10	28.953	2.930	11 14	-29.698	-3.066	4 19	30.639	3.356			
21 21	-29.161	-2.945	12 2	30.040	3.285	5 6	-29.707	-3.203			

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Mars 5 18	30.624	3.539	Mars 26 23	-29.289	-3.677	Avril 17 3	29.824	3.294
6 5	-29.865	-3.408	27 10	30.600	3.622	17 15	-28.791	-3.510
6 16	30.516	3.254	27 21	-29.496	-3.393	18 2	29.993	3.497
7 4	-29.667	-3.574	28 9	30.331	3.781	18 13	-28.679	-3.186
7 15	30.698	3.459	28 20	-29.436	-3.582	19 1	29.840	3.660
8 2	-29.796	-3.305	29 7	30.559	3.512	19 12	-28.797	-3.386
8 14	30.540	3.628	29 18	-29.296	-3.255	19 23	29.833	3.363
9 1	-29.810	-3.496	30 6	30.486	3.695	20 11	-28.573	-3.545
9 12	30.650	3.364	30 17	-29.451	-3.469	20 22	29.873	3.548
9 23	-29.596	-3.184	31 4	30.397	3.386	21 9	-28.669	-3.246
10 11	30.689	3.555	31 16	-29.253	-3.642	21 21	29.594	3.693
10 22	-29.822	-3.400	Avril 1 3	30.519	3.592	22 8	-28.658	-3.429
11 9	30.480	3.252	1 14	-29.331	-3.339	22 19	29.785	3.421
11 21	-29.691	-3.577	2 2	30.309	3.758	23 6	-28.408	-3.092
12 8	30.716	3.466	2 13	-29.347	-3.536	23 18	29.699	3.588
12 19	-29.702	-3.286	3 0	30.430	3.473	24 5	-28.608	-3.297
13 7	30.613	3.643	3 11	-29.077	-3.192	24 16	29.576	3.281
13 18	-29.783	-3.488	3 23	30.416	3.662	25 4	-28.469	-3.462
14 5	30.621	3.361	4 10	-29.306	-3.413	25 15	29.683	3.469
14 17	-29.509	-3.649	4 21	30.221	3.340	26 2	-28.424	-3.151
15 4	30.715	3.561	5 9	-29.185	-3.594	26 14	29.472	3.618
15 15	-29.744	-3.381	5 20	30.401	3.550	27 1	-28.496	-3.339
16 3	30.470	3.722	6 7	-29.132	-3.274	27 12	29.545	3.336
16 14	-29.682	-3.567	6 19	30.252	3.722	28 0	-28.232	-3.485
17 1	30.695	3.462	7 6	-29.224	-3.479	28 11	29.527	3.506
17 12	-29.571	-3.256	7 17	30.264	3.424	28 22	-28.389	-3.201
18 0	30.647	3.647	8 5	-28.968	-3.642	29 9	29.287	3.190
18 11	-29.723	-3.468	8 16	30.310	3.618	29 21	-28.337	-3.370
18 22	30.553	3.348	9 3	-29.129	-3.347	30 8	29.461	3.380
19 10	-29.518	-3.639	9 15	30.028	3.772	30 19	-28.149	-3.049
19 21	30.702	3.556	10 2	-29.086	-3.535	Mai 1 7	29.320	3.532
20 8	-29.630	-3.350	10 13	30.247	3.498	1 18	-28.307	-3.241
20 20	30.514	3.725	11 0	-28.900	-3.199	2 5	29.274	3.242
21 7	-29.639	-3.546	11 12	30.159	3.675	2 17	-28.131	-3.392
21 18	30.635	3.448	11 23	-29.070	-3.411	3 4	29.326	3.415
22 5	-29.404	-3.215	12 10	30.062	3.364	3 15	-28.143	-3.097
22 17	30.643	3.640	12 22	-28.894	-3.581	4 3	29.065	3.548
23 4	-29.626	-3.436	13 9	30.169	3.563	4 14	-28.177	-3.271
23 15	30.446	3.325	13 20	-28.920	-3.271	5 1	29.210	3.284
24 3	-29.494	-3.616	14 8	29.950	3.722	5 13	-27.881	-3.403
24 14	30.650	3.539	14 19	-28.957	-3.465	6 0	29.141	3.438
25 1	-29.480	-3.308	15 6	30.057	3.435	6 11	-28.089	-3.136
25 13	30.519	3.716	15 18	-28.649	-3.618	6 22	28.974	3.141
26 0	-29.561	-3.514	16 5	30.032	3.617	7 10	-28.003	-3.291
26 11	30.535	3.423	16 16	-28.885	-3.333	7 21	29.097	3.315

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Mai	8	8	-27.868	-2.988	Mai	29	13	27.861	2.870	Juin	19	18	-26.150	-2.361	
	8	20	28.910	3.451		30	1	-27.002	-2.954		20	6	26.605	2.640	
	9	7	-27.991	-3.165		30	12	27.875	2.994		20	17	-26.279	-2.458	
	9	18	28.932	3.180		30	23	-26.977	-2.715		21	4	26.686	2.474	
	10	6	-27.786	-3.301		31	11	27.595	3.083		21	16	-26.116	-2.524	
	10	17	28.936	3.336		Juin	31	22	-27.031		-2.843	22	3	26.653	2.551
	11	4	-27.845	-3.026			1	9	27.764		2.874	22	14	-26.139	-2.355
	11	15	28.646	3.034			1	21	-26.777		-2.936	23	1	26.426	2.362
	12	3	-27.849	-3.184			2	8	27.673		2.981	23	13	-26.169	-2.437
	12	14	28.841	3.209			2	19	-26.930		-2.723	24	0	26.580	2.454
13	1	-27.568	-2.875	3	6		27.532	2.745	24	12	-25.909	-2.488			
13	13	28.729	3.347	3	18		-26.877	-2.834	24	23	26.451	2.515			
14	0	-27.778	-3.053	4	5		27.629	2.869	25	10	-26.096	-2.341			
14	11	28.625	3.070	4	16		-26.698	-2.593	25	21	26.386	2.350			
14	23	-27.665	-3.193	5	4		27.434	2.959	26	9	-26.030	-2.408			
15	10	28.704	3.227	5	15	-26.846	-2.722	26	20	26.443	2.426				
15	21	-27.575	-2.911	6	2	27.465	2.748	27	7	-25.897	-2.240				
16	9	28.479	3.348	6	14	-26.688	-2.817	27	19	26.219	2.473				
16	20	-27.669	-3.072	7	1	27.458	2.855	28	6	-26.023	-2.321				
17	7	28.558	3.096	7	12	-26.685	-2.601	28	17	26.314	2.330				
17	19	-27.441	-3.194	7	23	27.180	2.619	29	5	-25.862	-2.374				
18	6	28.523	3.236	8	11	-26.727	-2.713	29	16	26.276	2.392				
18	17	-27.540	-2.938	8	22	27.361	2.742	30	3	-25.891	-2.228				
19	4	28.292	2.955	9	10	-26.467	-2.792	30	14	26.065	2.228				
19	16	-27.518	-3.080	9	21	27.252	2.833	Juill.	1	2	-25.921	-2.295			
20	3	28.447	3.113	10	8	-26.637	-2.601		1	13	26.213	2.304			
20	14	-27.279	-2.793	10	19	27.144	2.621		2	1	-25.665	-2.334			
21	2	28.301	3.234	11	7	-26.576	-2.697		2	12	26.080	2.352			
21	13	-27.463	-2.955	11	18	27.222	2.728		2	23	-25.854	-2.209			
22	0	28.250	2.979	12	5	-26.418	-2.480		3	10	26.028	2.209			
22	12	-27.329	-3.080	12	17	27.012	2.803		3	22	-25.790	-2.263			
22	23	28.294	3.119	13	4	-26.555	-2.593		4	9	26.082	2.272			
23	10	-27.275	-2.819	13	15	27.071	2.615		4	20	-25.663	-2.117			
23	22	28.038	3.224	14	3	-26.392	-2.673		5	8	25.857	2.307			
24	9	-27.347	-2.964	14	14	27.049	2.706	5	19	-25.789	-2.185				
24	20	28.166	2.993	15	1	-26.405	-2.480	6	6	25.962	2.185				
25	8	-27.102	-3.071	15	12	26.800	2.494	6	18	-25.631	-2.225				
25	19	28.100	3.116	16	0	-26.440	-2.577	7	5	25.922	2.234				
26	6	-27.232	-2.836	16	11	26.965	2.601	7	16	-25.663	-2.101				
26	17	27.918	2.858	16	23	-26.177	-2.641	8	3	25.720	2.093				
27	5	-27.192	-2.963	17	10	26.842	2.677	8	15	-25.695	-2.155				
27	16	28.040	2.998	17	21	-26.358	-2.473	9	2	25.867	2.155				
28	3	-26.987	-2.698	18	8	26.760	2.488	9	14	-25.446	-2.182				
28	15	27.866	3.104	18	20	-26.293	-2.554	10	1	25.735	2.191				
29	2	-27.150	-2.844	19	7	26.825	2.579	10	12	-25.634	-2.078				

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Juill. 10 23	25.689	2.070	Août 1 5	-24.943	-1.761	Août 22 9	24.171	1.426
11 11	-25.574	-2.119	1 16	24.873	1.746	22 21	-24.869	-1.458
11 22	25.744	2.120	2 3	-25.118	-1.717	23 8	24.370	1.425
12 9	-25.451	-1.997	2 14	24.820	1.688	23 20	-24.676	-1.431
12 21	25.522	2.143	3 2	-25.077	-1.725	24 7	24.299	1.405
13 8	-25.577	-2.051	3 13	24.895	1.703	24 18	-24.834	-1.441
13 19	25.630	2.043	4 0	-24.951	-1.666	25 5	24.215	1.402
14 7	-25.426	-2.079	4 12	24.699	1.698	25 17	-24.817	-1.423
14 18	25.594	2.079	4 23	-25.091	-1.685	26 4	24.328	1.392
15 5	-25.458	-1.977	5 10	24.795	1.657	26 15	-24.684	-1.421
15 16	25.396	1.960	5 22	-24.965	-1.683	27 3	24.173	1.364
16 4	-25.493	-2.018	6 9	24.784	1.662	27 14	-24.842	-1.412
16 15	25.544	2.010	6 20	-24.986	-1.642	28 1	24.235	1.376
17 3	-25.253	-2.034	7 7	24.573	1.606	28 13	-24.740	-1.386
17 14	25.418	2.034	7 19	-25.040	-1.650	29 0	24.264	1.358
18 1	-25.437	-1.951	8 6	24.746	1.623	29 11	-24.752	-1.399
18 12	25.373	1.935	8 18	-24.828	-1.639	29 23	24.024	1.322
19 0	-25.383	-1.980	9 5	24.648	1.618	30 10	-24.825	-1.382
19 11	25.432	1.972	9 16	-24.996	-1.613	30 21	24.233	1.348
19 22	-25.260	-1.880	10 3	24.587	1.579	31 9	-24.639	-1.348
20 10	25.216	1.985	10 15	-24.964	-1.612	Sept. 31 20	24.176	1.322
20 21	-25.390	-1.921	11 2	24.673	1.586	1 7	-24.794	-1.374
21 8	25.324	1.905	11 13	-24.836	-1.573	1 18	24.079	1.336
21 20	-25.246	-1.939	12 1	24.490	1.572	2 6	-24.783	-1.349
22 7	25.293	1.931	12 12	-24.981	-1.582	2 17	24.207	1.319
22 18	-25.275	-1.857	12 23	24.576	1.549	3 4	-24.650	-1.364
23 5	25.095	1.834	13 11	-24.864	-1.571	3 16	24.066	1.284
23 17	-25.316	-1.887	13 22	24.577	1.546	4 3	-24.813	-1.348
24 4	25.249	1.871	14 9	-24.881	-1.548	4 14	24.116	1.313
24 16	-25.085	-1.893	14 20	24.356	1.509	5 2	-24.717	-1.315
25 3	25.130	1.885	15 8	-24.941	-1.548	5 13	24.159	1.287
25 14	-25.265	-1.830	15 19	24.542	1.517	6 0	-24.728	-1.344
26 1	25.083	1.807	16 7	-24.739	-1.528	6 12	23.934	1.245
26 13	-25.217	-1.848	16 18	24.457	1.504	6 23	-24.807	-1.320
27 0	25.148	1.833	17 5	-24.902	-1.521	7 10	24.130	1.288
27 11	-25.093	-1.769	17 16	24.384	1.484	7 22	-24.627	-1.279
27 23	24.942	1.836	18 4	-24.877	-1.511	8 9	24.088	1.255
28 10	-25.228	-1.799	18 15	24.484	1.481	8 20	-24.782	-1.322
28 21	25.045	1.776	19 2	-24.746	-1.491	9 7	23.978	1.286
29 9	-25.093	-1.806	19 14	24.314	1.461	9 19	-24.776	-1.290
29 20	25.023	1.791	20 1	-24.898	-1.490	10 6	24.121	1.261
30 7	-25.118	-1.745	20 12	24.389	1.455	10 17	-24.645	-1.322
30 18	24.820	1.715	21 0	-24.788	-1.472	11 5	23.994	1.221
31 6	-25.165	-1.764	21 11	24.403	1.444	11 16	-24.811	-1.298
31 17	24.982	1.741	21 22	-24.802	-1.467	12 3	24.032	1.266

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			Date			Date		
Mois	j	h	Mois	j	h	Mois	j	h
	"	"		"	"		"	"
Sept.	12	15	Oct.	3	20	Oct.	25	1
	13	2		4	7		25	12
	13	13		4	18		25	23
	14	1		5	6		26	11
	14	12		5	17		26	22
	14	23		6	4		27	9
	15	11		6	16		27	21
	15	22		7	3		28	8
	16	9		7	14		28	19
	16	20		8	2		29	7
	17	8		8	13		29	18
	17	19		9	0		30	5
	18	6		9	11		30	16
	18	18		9	23		31	4
	19	5		10	10		31	15
	19	16		10	21	Nov.	1	2
	20	4		11	9		1	14
	20	15		11	20		2	1
	21	2		12	7		2	12
	21	14		12	19		3	0
	22	1		13	6		3	11
	22	12		13	17		3	22
	23	0		14	5		4	10
	23	11		14	16		4	21
	23	22		15	3		5	8
	24	9		15	15		5	20
	24	21		16	2		6	7
	25	8		16	13		6	18
	25	19		17	0		7	5
	26	7		17	12		7	17
	26	18		17	23		8	4
	27	5		18	10		8	15
	27	17		18	22		9	3
	28	4		19	9		9	14
	28	15		19	20		10	1
	29	3		20	8		10	13
	29	14		20	19		11	0
	30	1		21	6		11	11
	30	13		21	18		11	23
Oct.	1	0		22	5		12	10
	1	11		22	16		12	21
	1	22		23	4		13	9
	2	10		23	15		13	20
	2	21		24	2		14	7
	3	8		24	13		14	18

MIMAS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Nov.	15 6	24.905	1.367	Déc.	1 6	25.421	1.748	Déc.	17 7	26.311	1.833
	15 17	-25.902	-1.494		1 18	-26.294	-1.520		17 18	-27.032	-1.930
	16 4	24.804	1.552		2 5	25.606	1.638		18 6	26.146	1.677
	16 16	-25.840	-1.390		2 16	-26.427	-1.750		18 17	-27.023	-1.788
	17 3	25.012	1.462		3 4	25.495	1.507		19 4	26.384	1.959
	17 14	-25.877	-1.579		3 15	-26.488	-1.633		19 15	-26.988	-2.045
	18 2	24.931	1.352		4 2	25.631	1.748		20 3	26.412	1.815
	18 13	-25.989	-1.484		4 13	-26.333	-1.848		20 14	-27.161	-1.914
	19 0	24.997	1.554		5 1	25.711	1.627		21 1	26.337	2.079
	19 12	-25.829	-1.371		5 12	-26.573	-1.741		21 13	-27.040	-1.759
	19 23	25.106	1.454		5 23	25.535	1.853		22 0	26.558	1.948
	20 10	-26.028	-1.575		6 11	-26.530	-1.613		22 11	-27.187	-2.035
	20 22	24.924	1.335		6 22	25.806	1.744		22 23	26.472	1.791
	21 9	-26.042	-1.471		7 9	-26.547	-1.847		23 10	-27.248	-1.891
	21 20	25.161	1.552		7 21	25.779	1.612		23 21	26.585	2.075
	22 7	-25.958	-1.663		8 8	-26.683	-1.729		24 8	-27.099	-2.150
	22 19	25.169	1.442		8 19	25.782	1.855		24 20	26.692	1.930
	23 6	-26.148	-1.568		9 7	-26.534	-1.589		25 7	-27.344	-2.019
	23 17	25.094	1.646		9 18	25.947	1.735		25 18	26.492	2.195
	24 5	-26.062	-1.453		10 5	-26.725	-1.840		26 6	-27.290	-1.863
	24 16	25.293	1.547		10 17	25.811	1.591		26 17	26.793	2.064
	25 3	-26.143	-1.662		11 4	-26.754	-1.710		27 4	-27.326	-2.141
	25 15	25.199	1.427		11 15	25.994	1.853		27 16	26.785	1.907
	26 2	-26.232	-1.556		12 2	-26.655	-1.947		28 3	-27.457	-1.997
	26 13	25.297	1.648		12 14	26.051	1.720		28 14	26.774	2.191
	27 1	-26.045	-1.432		13 1	-26.864	-1.828		29 2	-27.288	-1.828
	27 12	25.394	1.538		13 12	25.922	1.966		29 13	26.960	2.048
	27 23	-26.293	-1.656		14 0	-26.785	-1.687		30 0	-27.511	-2.125
	28 11	25.196	1.407		14 11	26.171	1.845		30 12	26.834	1.878
	28 22	-26.281	-1.541		14 22	-26.863	-1.941		30 23	-27.525	-1.968
	29 9	25.468	1.645		15 10	26.118	1.701		31 10	27.015	2.182
	29 20	-26.244	-1.753		15 21	-26.964	-1.811		31 21	-27.451	-2.247
	30 8	25.462	1.525		16 8	26.171	1.965	Janv.	1 9	27.084	2.025
	30 19	-26.409	-1.647		16 20	-26.775	-1.658				

ENCELADE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Déc. 31 12	36.131	2.973	Janv. 31 8	-38.072	-3.193	Mars 3 4	38.932	3.400
Janv. 1 5	-36.379	-3.059	Févr. 1 1	37.965	3.264	3 20	-38.860	-3.291
1 21	36.272	-2.996	1 17	-38.147	-3.223	4 13	38.917	3.444
2 14	-36.425	-3.075	2 10	37.955	3.290	5 5	-38.907	-3.338
3 6	36.394	3.018	3 2	-38.200	-3.253	5 22	38.877	3.487
3 23	-36.450	-3.090	3 18	38.074	3.146	6 14	-38.930	-3.385
4 15	36.499	3.039	4 11	-38.229	-3.282	7 7	38.811	3.529
5 7	-36.533	-3.007	5 3	38.190	3.180	7 23	-38.928	-3.431
6 0	36.584	3.059	5 20	-38.234	-3.311	8 15	38.844	3.243
6 16	-36.677	-3.031	6 12	38.285	3.214	9 8	-38.900	-3.476
7 9	36.652	3.078	7 5	-38.215	-3.340	10 0	38.907	3.293
8 1	-36.800	-3.054	7 21	38.355	3.247	10 17	-38.849	-3.522
8 18	36.698	3.096	8 13	-38.306	-3.177	11 9	38.945	3.343
9 10	-36.906	-3.076	9 6	38.401	3.280	12 2	-38.773	-3.566
10 3	36.724	3.112	9 22	-38.413	-3.214	12 18	38.958	3.392
10 19	-36.991	-3.097	10 15	38.423	3.313	13 10	-38.778	-3.256
11 11	36.789	3.020	11 7	-38.500	-3.250	14 3	38.944	3.440
12 4	-37.058	-3.118	12 0	38.421	3.344	14 19	-38.829	-3.308
12 20	36.935	3.046	12 16	-38.561	-3.285	15 12	38.909	3.488
13 13	-37.103	-3.137	13 9	38.396	3.376	16 4	-38.856	-3.360
14 5	37.063	3.071	14 1	-38.599	-3.321	16 21	38.848	3.536
14 22	-37.128	-3.156	14 17	38.483	3.189	17 13	-38.859	-3.411
15 14	37.170	3.096	15 10	-38.612	-3.356	18 6	38.766	3.582
16 6	-37.153	-3.053	16 2	38.586	3.229	18 22	-38.836	-3.461
16 23	37.256	3.119	16 19	-38.601	-3.390	19 14	38.765	3.246
17 15	-37.300	-3.081	17 11	38.663	3.268	20 7	-38.790	-3.511
18 8	37.320	3.142	18 4	-38.566	-3.425	20 23	38.807	3.301
19 0	-37.425	-3.108	18 20	38.717	3.307	21 16	-38.720	-3.560
19 17	37.365	3.164	19 12	-38.626	-3.216	22 8	38.825	3.354
20 9	-37.530	-3.134	20 5	38.746	3.345	23 1	-38.627	-3.608
21 2	37.387	3.185	20 21	-38.718	-3.258	23 17	38.819	3.407
21 18	-37.614	-3.159	21 14	38.752	3.383	24 9	-38.590	-3.249
22 10	37.402	3.068	22 6	-38.784	-3.300	25 2	38.789	3.459
23 3	-37.674	-3.184	22 23	38.733	3.421	25 18	-38.623	-3.305
23 19	37.548	3.098	23 15	-38.828	-3.341	26 11	38.736	3.511
24 12	-37.715	-3.208	24 8	38.689	3.458	27 3	-38.632	-3.361
25 4	37.673	3.127	25 0	-38.846	-3.382	27 20	38.659	3.561
25 21	-37.732	-3.231	25 16	38.748	3.223	28 12	-38.618	-3.415
26 13	37.776	3.155	26 9	-38.842	-3.423	29 5	38.557	3.611
27 6	-37.730	-3.254	27 1	38.829	3.268	29 21	-38.580	-3.469
27 22	37.856	3.183	27 18	-38.811	-3.463	30 13	38.512	3.229
28 14	-37.854	-3.131	28 10	38.888	3.312	31 6	-38.518	-3.521
29 7	37.915	3.211	Mars 1 3	-38.756	-3.503	31 22	38.536	3.286
29 23	-37.974	-3.162	1 19	38.921	3.356	Avril 1 15	-38.433	-3.573
30 16	37.952	3.238	2 11	-38.789	-3.244	2 7	38.539	3.343

ENCELADE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y			
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"			
Avril	3 0	-38.324	-3.622	Mai	3 19	36.919	3.102	Juin	3 15	-34.839	-2.973
	3 16	38.518	3.399		4 12	-36.853	-3.426		4 8	35.121	3.219
	4 8	-38.239	-3.220		5 4	36.904	3.160		5 0	-34.804	-3.020
	5 1	38.474	3.453		5 21	-36.741	-3.476		5 17	35.017	3.257
	5 17	-38.256	-3.279		6 13	36.870	3.216		6 9	-34.757	-3.065
	6 10	38.407	3.507		7 6	-36.613	-3.523		7 2	34.898	3.293
	7 2	-38.251	-3.336		7 22	36.816	3.270		7 18	-34.694	-3.107
	7 19	38.317	3.559		8 15	-36.465	-3.568		8 11	34.767	3.327
	8 11	-38.223	-3.393		9 7	36.745	3.322		9 3	-34.616	-3.147
	9 4	38.206	3.610		9 23	-36.410	-3.112		9 19	34.642	2.913
	9 20	-38.173	-3.448		10 16	36.656	3.373		10 12	-34.523	-3.184
	10 12	38.105	3.189		11 8	-36.379	-3.168		11 4	34.619	2.959
11 5	-38.101	-3.502	12 1	36.551	3.421	11 21	-34.416	-3.219			
11 21	38.117	3.248	12 17	-36.331	-3.221	12 13	34.580	3.002			
12 14	-38.008	-3.554	13 10	36.427	3.467	13 6	-34.297	-3.251			
13 6	38.105	3.307	14 2	-36.265	-3.273	13 22	34.528	3.042			
13 23	-37.893	-3.606	14 19	36.287	3.511	14 15	-34.164	-3.281			
14 15	38.074	3.364	15 11	-36.181	-3.322	15 7	34.462	3.080			
15 8	-37.757	-3.655	16 3	36.187	3.056	15 23	-34.065	-2.885			
16 0	38.020	3.419	16 20	-36.080	-3.369	16 16	34.382	3.116			
16 16	-37.751	-3.227	17 12	36.162	3.110	17 8	-34.038	-2.927			
17 9	37.947	3.473	18 5	-35.961	-3.414	18 1	34.290	3.149			
18 1	-37.735	-3.286	18 21	36.119	3.163	18 17	-33.999	-2.967			
18 18	37.852	3.526	19 14	-35.828	-3.457	19 10	34.183	3.179			
19 10	-37.701	-3.343	20 6	36.059	3.213	20 2	-33.945	-3.004			
20 3	37.737	3.577	20 23	-35.678	-3.498	20 19	34.064	3.208			
20 19	-37.644	-3.399	21 15	35.982	3.261	21 11	-33.880	-3.038			
21 12	37.600	3.627	22 7	-35.633	-3.051	22 4	33.932	3.233			
22 4	-37.569	-3.453	23 0	35.888	3.307	22 20	-33.801	-3.070			
22 20	37.567	3.186	23 16	-35.597	-3.103	23 12	33.883	2.870			
23 13	-37.472	-3.505	24 9	35.780	3.350	24 5	-33.709	-3.100			
24 5	37.552	3.245	25 1	-35.545	-3.152	24 21	33.855	2.907			
24 22	-37.355	-3.556	25 18	35.655	3.392	25 14	-33.603	-3.127			
25 14	37.515	3.302	26 10	-35.476	-3.199	26 6	33.815	2.943			
26 7	-37.218	-3.605	27 3	35.517	3.431	26 23	-33.485	-3.151			
26 23	37.459	3.357	27 19	-35.391	-3.244	27 15	33.762	2.975			
27 15	-37.130	-3.151	28 11	35.416	2.991	28 8	-33.356	-3.173			
28 8	37.383	3.411	29 4	-35.291	-3.286	29 0	33.697	3.006			
29 0	-37.114	-3.210	29 20	35.388	3.041	29 16	-33.318	-2.831			
29 17	37.288	3.463	30 13	-35.177	-3.326	30 9	33.619	3.033			
Mai	30 9	-37.078	-3.267	31 5	35.343	3.089	Juill.	1 1	-33.293	-2.865	
	1 2	37.173	3.513	31 22	-35.047	-3.364		1 18	33.528	3.058	
	1 18	-37.022	-3.322	Juin	1 14	35.284		3.135	2 10	-33.254	-2.897
	2 11	37.042	3.561		2 7	-34.901		-3.399	3 3	33.426	3.081
	3 3	-36.945	-3.375		2 23	35.210		3.178	3 19	-33.203	-2.926

ENCELADE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Juill. 4 12	33.312	3.101	Août 4 8	-31.860	-2.777	Sept. 4 4	31.514	2.561
5 4	-33.140	-2.953	5 0	32.089	2.701	4 20	-31.107	-2.527
5 20	33.202	2.781	5 17	-31.784	-2.780	5 13	31.502	2.553
6 13	-33.066	-2.977	6 9	32.070	2.713	6 5	-31.144	-2.525
7 5	33.188	2.813	7 2	-31.697	-2.781	6 22	31.480	2.543
7 22	-32.980	-2.999	7 18	32.042	2.722	7 14	-31.170	-2.522
8 14	33.164	2.843	8 10	-31.636	-2.622	8 7	31.447	2.529
9 7	-32.882	-3.018	9 3	32.003	2.729	8 23	-31.187	-2.516
9 23	33.126	2.870	9 19	-31.647	-2.636	9 16	31.405	2.514
10 16	-32.772	-3.034	10 12	31.955	2.734	10 8	-31.192	-2.507
11 8	33.080	2.895	11 4	-31.645	-2.647	11 1	31.353	2.496
8 14	-32.662	-2.738	11 21	31.895	2.736	11 17	-31.189	-2.495
12 17	33.020	2.918	12 13	-31.635	-2.656	12 9	31.349	2.529
13 9	-32.653	-2.767	13 6	31.826	2.735	13 2	-31.175	-2.482
14 2	32.948	2.938	13 22	-31.613	-2.663	13 18	31.390	2.523
14 18	-32.632	-2.794	14 15	31.745	2.732	14 11	-31.152	-2.465
15 11	32.866	2.955	15 7	-31.583	-2.666	15 3	31.420	2.515
16 3	-32.601	-2.818	15 23	31.712	2.616	15 20	-31.117	-2.447
16 20	32.771	2.969	16 16	-31.541	-2.668	16 12	31.441	2.504
17 12	-32.557	-2.840	17 8	31.728	2.625	17 5	-31.073	-2.425
18 5	32.667	2.982	18 1	-31.490	-2.666	17 21	31.452	2.491
18 21	-32.502	-2.859	18 17	31.732	2.632	18 13	-31.048	-2.491
19 13	32.594	2.725	19 10	-31.427	-2.663	19 6	31.455	2.475
20 6	-32.436	-2.875	20 2	31.727	2.637	19 22	-31.097	-2.482
20 22	32.587	2.750	20 19	-31.354	-2.656	20 15	31.447	2.457
21 15	-32.359	-2.889	21 11	31.711	2.639	21 7	-31.138	-2.471
22 7	32.568	2.772	22 3	-31.305	-2.571	22 0	31.428	2.437
23 0	-32.271	-2.900	22 20	31.685	2.638	22 16	-31.167	-2.457
23 16	32.540	2.792	23 12	-31.328	-2.577	23 9	31.399	2.413
24 9	-32.172	-2.909	24 5	31.649	2.635	24 1	-31.188	-2.441
25 1	32.500	2.809	24 21	-31.341	-2.581	24 18	31.360	2.388
25 17	-32.093	-2.679	25 14	31.604	2.629	25 10	-31.198	-2.422
26 10	32.451	2.824	26 6	-31.343	-2.582	26 2	31.374	2.496
27 2	-32.090	-2.701	26 23	31.548	2.621	26 19	-31.198	-2.401
27 19	32.390	2.836	27 15	-31.335	-2.581	27 11	31.429	2.483
28 11	-32.079	-2.720	28 8	31.482	2.611	28 4	-31.187	-2.377
29 4	32.318	2.846	29 0	-31.317	-2.577	28 20	31.474	2.467
29 20	-32.056	-2.736	29 16	31.463	2.569	29 13	-31.166	-2.351
30 13	32.235	2.852	30 9	-31.291	-2.571	30 5	31.507	2.449
31 5	-32.024	-2.750	31 1	31.489	2.571	30 22	-31.135	-2.322
31 22	32.141	2.857	31 18	-31.253	-2.562	Oct. 1 14	31.532	2.428
Août 1 14	-31.980	-2.762	31 10	31.508	2.570	2 6	-31.129	-2.463
2 6	32.093	2.669	2 3	-31.205	-2.551	2 23	31.546	2.404
2 23	-31.925	-2.770	2 19	31.515	2.567	3 15	-31.193	-2.447
3 15	32.096	2.686	3 12	-31.146	-2.537	4 8	31.552	2.379

ENCELADE 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Oct.	5 0	-31.246	-2.428	Nov.	4 4	-32.005	-2.279	Déc.	4 8	-33.265	-2.063
	5 17	31.546	2.351		4 20	32.211	2.459		5 0	33.698	2.317
	6 9	-31.290	-2.406		5 13	-32.047	-2.237		5 17	-33.284	-2.003
	7 2	31.529	2.320		6 5	32.311	2.425		6 9	33.779	2.263
	7 18	-31.322	-2.382		6 22	-32.077	-2.193		7 1	-33.370	-2.453
	8 11	31.502	2.287		7 14	32.399	2.388		7 18	33.846	2.207
	9 3	-31.346	-2.356	8 7	-32.097	-2.147	8 10	-33.498	-2.404		
	9 19	31.542	2.470	8 23	32.475	2.349	9 3	33.898	2.149		
	10 12	-31.358	-2.327	9 16	-32.104	-2.098	9 19	-33.611	-2.351		
	11 4	31.611	2.449	10 8	32.541	2.307	10 12	33.938	2.089		
	11 21	-31.359	-2.295	11 0	-32.122	-2.441	11 4	-33.709	-2.297		
	12 13	31.668	2.425	11 17	32.594	2.263	11 21	33.961	2.027		
	13 6	-31.349	-2.261	12 9	-32.230	-2.403	12 13	-33.792	-2.240		
	13 22	31.715	2.399	13 2	32.637	2.217	13 5	34.045	2.492		
	14 15	-31.330	-2.225	13 18	-32.325	-2.364	13 22	-33.860	-2.182		
	15 7	31.751	2.370	14 11	32.666	2.168	14 14	34.177	2.440		
	15 23	-31.354	-2.441	15 3	-32.410	-2.321	15 7	-33.915	-2.122		
	16 16	31.777	2.339	15 20	32.684	2.117	15 23	34.295	2.385		
17 8	-31.431	-2.417	16 12	-32.481	-2.277	16 16	-33.954	-2.059			
18 1	31.792	2.306	17 5	32.688	2.064	17 8	34.399	2.329			
18 17	-31.497	-2.390	17 21	-32.541	-2.230	18 1	-33.979	-1.995			
19 10	31.798	2.270	18 13	32.791	2.442	18 17	34.486	2.271			
20 2	-31.551	-2.361	19 6	-32.587	-2.180	19 9	-34.071	-2.483			
20 19	31.792	2.232	19 22	32.898	2.400	20 2	34.560	2.211			
21 11	-31.596	-2.329	20 15	-32.622	-2.129	20 18	-34.206	-2.428			
22 4	31.775	2.191	21 7	32.993	2.355	21 11	34.617	2.149			
22 20	-31.629	-2.295	22 0	-32.643	-2.075	22 3	-34.326	-2.371			
23 12	31.857	2.447	22 16	33.074	2.308	22 20	34.660	2.085			
24 5	-31.653	-2.258	23 9	-32.653	-2.020	23 12	-34.431	-2.314			
24 21	31.934	2.418	24 1	33.142	2.259	24 5	34.685	2.020			
25 14	-31.665	-2.219	24 17	-32.754	-2.426	24 21	-34.520	-2.253			
26 6	32.003	2.386	25 10	33.199	2.208	25 13	34.787	2.517			
26 23	-31.665	-2.178	26 2	-32.866	-2.381	26 6	-34.593	-2.191			
27 15	32.061	2.353	26 19	33.242	2.154	26 22	34.924	2.461			
28 8	-31.653	-2.134	27 11	-32.966	-2.333	27 15	-34.648	-2.127			
29 0	32.108	2.316	28 4	33.274	2.099	28 7	35.047	2.403			
29 16	-31.722	-2.423	28 20	-33.052	-2.284	29 0	-34.686	-2.062			
30 9	32.143	2.277	29 13	33.291	2.041	29 16	35.153	2.343			
31 1	-31.811	-2.390	30 5	-33.126	-2.232	30 9	-34.710	-1.995			
31 18	32.168	2.236	30 21	33.374	2.466	31 1	35.242	2.281			
Nov.	1 10	-31.887	-2.356	Déc.	1 14	-33.186	-2.178	Janv.	31 17	-34.829	-2.510
	2 3	32.180	2.193		2 6	33.495	2.418		1 10	35.315	2.218
	2 19	-31.952	-2.319		2 23	-33.233	-2.122				
	3 12	32.182	2.148		3 15	33.603	2.369				

TÉTHYS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Janv.	1 19	44.928	4.007	Févr.	13 7	-47.658	-4.249	Mars	27 18	47.843	4.415	
	2 18	-45.084	-4.010		14 5	47.738	4.207		28 16	-47.803	-4.248	
	3 17	45.149	4.005		15 4	-47.792	-4.242		29 15	47.830	4.342	
	4 15	-45.161	-4.019		16 3	47.757	4.272		30 14	-47.697	-4.429	
	5 14	45.317	4.022		17 1	-47.845	-4.225		31 12	47.734	4.257	
	6 13	-45.346	-4.015		18 0	47.895	4.263		Avril	1 11	-47.694	-4.353
	7 11	45.403	4.032		18 22	-47.814	-4.195			2 10	47.589	4.441
	8 10	-45.525	-4.033		19 21	47.953	4.243			3 8	-47.608	-4.266
	9 9	45.564	4.028		20 20	-47.960	-4.284			4 7	47.592	4.363
	10 7	-45.622	-4.043		21 18	47.927	4.211			5 5	-47.436	-4.168
	11 6	45.751	4.047		22 17	-48.028	-4.263			6 4	47.510	4.274
	12 5	-45.745	-4.040		23 16	48.030	4.306			7 3	-47.429	-4.372
	13 3	45.856	4.058		24 14	-48.010	-4.229			8 1	47.342	4.173
	14 2	-45.946	-4.059		25 13	48.106	4.282			9 0	-47.358	-4.280
	15 1	45.949	4.055		26 12	-48.052	-4.328			9 23	47.294	4.379
15 23	-46.064	-4.070	27 10	48.096	4.246	10 21	-47.202	-4.178				
16 22	46.157	4.075	28 9	-48.137	-4.302	11 20	47.230	4.285				
17 21	-46.118	-4.069	Mars	1 8	48.093	4.351	12 19	-47.108		-4.385		
18 19	46.281	4.085		2 6	-48.136	-4.264	13 17	47.079		4.180		
19 18	-46.338	-4.089		3 5	48.185	4.322	14 16	-47.054		-4.289		
20 16	46.328	4.088	4 4	-48.073	-4.373	15 15	46.948	4.388				
21 15	-46.477	-4.100	5 2	48.192	4.282	16 13	-46.915	-4.183				
22 14	46.528	4.106	6 1	-48.173	-4.342	17 12	46.898	4.290				
23 12	-46.536	-4.102	6 23	48.116	4.229	18 11	-46.740	-4.391				
24 11	46.675	4.116	7 22	-48.192	-4.299	19 9	46.768	4.182				
25 10	-46.690	-4.122	8 21	48.187	4.363	20 8	-46.701	-4.291				
26 8	46.741	4.118	9 19	-48.126	-4.244	21 7	46.563	4.389				
27 7	-46.850	-4.133	10 18	48.212	4.317	22 5	-46.578	-4.182				
28 6	46.858	4.140	11 17	-48.140	-4.383	23 4	46.532	4.289				
29 4	-46.928	-4.133	12 15	48.151	4.259	24 2	-46.370	-4.063				
30 3	47.029	4.150	13 14	-48.178	-4.335	25 1	46.419	4.179				
Févr.	31 2	-46.993	-4.158	14 13	48.114	4.403	26 0	-46.306	-4.286			
	1 0	47.116	4.150	15 11	-48.128	-4.275	26 22	46.219	4.059			
	1 23	-47.172	-4.168	16 10	48.155	4.352	27 21	-46.203	-4.174			
	2 22	47.146	4.179	17 9	-48.038	-4.422	28 20	46.129	4.280			
	3 20	-47.268	-4.167	18 7	48.110	4.289	29 18	-46.013	-4.054			
	4 19	47.333	4.188	19 6	-48.088	-4.369	30 17	46.029	4.168			
	5 17	-47.282	-4.155	20 4	47.983	4.213	Mai	1 16	-45.890	-4.273		
	6 16	47.437	4.185	21 3	-48.052	-4.304		2 14	45.844	4.046		
	7 15	-47.444	-4.206	22 2	48.033	4.385		3 13	-45.801	-4.160		
	8 13	47.459	4.172	23 0	-47.933	-4.226	4 12	45.694	4.264			
	9 12	-47.559	-4.203	23 23	48.003	4.317	5 10	-45.627	-4.038			
	10 11	47.576	4.228	24 22	-47.926	-4.401	6 9	45.613	4.150			
	11 9	-47.595	-4.189	25 20	47.892	4.237	7 8	-45.448	-4.252			
	12 8	47.696	4.223	26 19	-47.905	-4.330	8 6	45.443	4.027			

TÉTHYS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Mai 9 5	-45.376	-4.138	Juin 20 17	42.068	3.759	Août 2 4	-39.674	-3.088
10 4	45.240	4.239	21 15	-42.060	-3.584	3 3	39.715	3.110
11 2	-45.220	-4.016	22 14	42.022	3.659	4 2	-39.637	-3.120
12 1	45.174	4.124	23 12	-41.842	-3.474	5 0	39.578	3.062
13 0	-44.989	-4.224	24 11	41.892	3.556	5 23	-39.587	-3.077
13 22	45.025	4.001	25 10	-41.800	-3.625	6 22	39.551	3.085
14 21	-44.933	-4.109	26 8	41.677	3.449	7 20	-39.455	-3.033
15 19	44.792	3.872	27 7	-41.678	-3.525	8 19	39.505	3.047
16 18	-44.793	-3.987	28 6	41.632	3.592	9 18	-39.428	-3.047
17 17	44.726	4.091	29 4	-41.473	-3.422	10 16	39.377	3.008
18 15	-44.569	-3.859	30 3	41.514	3.495	11 15	-39.388	-3.014
19 14	44.595	3.970	Juill. 1 2	-41.424	-3.557	12 14	39.359	3.013
20 13	-44.476	-4.072	2 0	41.312	3.396	13 12	-39.263	-2.980
21 11	44.379	3.842	2 23	-41.314	-3.464	14 11	39.322	2.984
22 10	-44.353	-3.952	3 22	41.262	3.523	15 10	-39.246	-2.975
23 9	44.274	4.051	4 20	-41.122	-3.368	16 8	39.204	2.956
24 7	-44.145	-3.825	5 19	41.155	3.433	17 7	-39.213	-2.952
25 6	44.157	3.932	6 18	-41.067	-3.487	18 6	39.194	2.942
26 5	-44.018	-4.028	7 16	40.967	3.340	19 4	-39.102	-2.928
27 3	43.956	3.806	8 15	-40.968	-3.401	20 3	39.163	2.923
28 2	-43.910	-3.910	9 14	40.915	3.451	21 2	-39.096	-2.905
29 1	43.818	4.005	10 12	-40.787	-3.313	22 0	39.053	2.904
29 23	-43.717	-3.785	11 11	40.821	3.369	22 23	-39.073	-2.892
30 22	43.715	3.888	12 10	-40.729	-3.415	23 22	39.053	2.873
31 21	-43.565	-3.978	13 8	40.647	3.285	24 20	-38.971	-2.878
Juin 1 19	43.525	3.764	14 7	-40.639	-3.336	25 19	39.031	2.864
2 18	-43.473	-3.863	15 6	40.595	3.379	26 18	-38.976	-2.837
3 17	43.360	3.951	16 4	-40.470	-3.256	27 16	38.931	2.855
4 15	-43.296	-3.742	17 3	40.511	3.305	28 15	-38.960	-2.833
5 14	43.273	3.837	18 2	-40.416	-3.341	29 14	38.944	2.805
6 13	-43.117	-3.922	19 0	40.345	3.229	30 12	-38.864	-2.830
7 11	43.102	3.718	19 23	-40.338	-3.271	31 11	38.932	2.806
8 10	-43.038	-3.810	20 22	40.294	3.305	Sept. 1 10	-38.880	-2.770
9 9	42.916	3.892	21 20	-40.179	-3.200	2 8	38.840	2.808
10 7	-42.876	-3.693	22 19	40.221	3.240	3 7	-38.874	-2.776
11 6	42.842	3.782	23 18	-40.128	-3.267	4 6	38.864	2.739
12 5	-42.676	-3.861	24 16	40.066	3.173	5 4	-38.787	-2.783
13 3	42.687	3.667	25 15	-40.063	-3.206	6 3	38.862	2.751
14 2	-42.610	-3.753	26 14	40.018	3.232	7 2	-38.812	-2.705
15 1	42.484	3.828	27 12	-39.914	-3.144	8 0	38.779	2.763
15 23	-42.463	-3.641	28 11	39.954	3.175	8 23	-38.814	-2.721
16 22	42.424	3.722	29 10	-39.870	-3.193	9 22	38.816	2.675
17 21	-42.249	-3.794	30 8	39.808	3.117	10 20	-38.735	-2.739
18 19	42.283	3.613	31 7	-39.813	-3.141	11 19	38.821	2.697
19 18	-42.194	-3.690	Août 1 6	39.769	3.158	12 18	-38.775	-2.642

TÉTHYS 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y	
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	
Sept.	13 16	38.745	2.719	Oct.	20 12	-39.230	-2.478	Nov.	26 8	40.988	2.276	
	14 15	-38.786	-2.668		21 11	39.343	2.371		27 7	-41.053	-2.111	
	15 14	38.793	2.613		22 10	-39.335	-2.252		28 6	41.077	1.945	
	16 12	-38.715	-2.696		23 8	39.338	2.463		29 4	-41.144	-2.257	
	17 11	38.807	2.645		24 7	-39.417	-2.348		30 3	41.256	2.095	
	18 10	-38.769	-2.581		25 6	39.449	2.230		Déc.	1 2	-41.220	-1.918
	19 8	38.738	2.678		26 4	-39.418	-2.445			2 0	41.355	2.244
	20 7	-38.789	-2.618		27 3	39.536	2.331			2 23	-41.408	-2.071
	21 6	38.799	2.553		28 2	-39.528	-2.202			3 22	41.427	1.898
	22 4	-38.728	-2.656		29 0	39.543	2.432			4 20	-41.516	-2.224
23 3	38.820	2.595	29 23	-39.622	-2.307	5 19	41.622	2.054				
24 2	-38.793	-2.522	30 22	39.659	2.181	6 18	-41.578	-1.872				
25 0	38.761	2.638	31 20	-39.635	-2.414	7 16	41.738	2.209				
25 23	-38.822	-2.569	Nov.	1 19	39.759	2.291	8 15	-41.784	-2.031			
26 22	38.833	2.495		2 18	-39.746	-2.153	9 14	41.791	1.851			
27 20	-38.770	-2.617	3 16	39.780	2.401	10 12	-41.910	-2.190				
28 19	38.865	2.547	4 15	-39.853	-2.268	11 11	42.004	2.013				
29 18	-38.843	-2.464	5 14	39.895	2.133	12 9	-41.960	-2.348				
30 16	38.820	2.601	6 12	-39.882	-2.383	13 8	42.136	2.175				
Oct.	1 15	-38.878	-2.521	7 11	40.008	2.251	14 7	-42.177	-1.990			
	2 14	38.902	2.439	8 10	-39.993	-2.106	15 5	42.193	2.336			
	3 12	-38.837	-2.580	9 8	40.043	2.370	16 4	-42.324	-2.155			
	4 11	38.943	2.501	10 7	-40.115	-2.229	17 3	42.398	1.972			
	5 10	-38.921	-2.408	11 6	40.153	2.084	18 1	-42.390	-2.318			
	6 8	38.906	2.565	12 4	-40.161	-2.353	19 0	42.554	2.140			
	7 7	-38.967	-2.476	13 3	40.280	2.211	19 23	-42.577	-1.949			
	8 6	38.996	2.384	14 2	-40.269	-2.059	20 21	42.631	2.305			
	9 4	-38.937	-2.545	15 0	40.331	2.339	21 20	-42.743	-2.118			
	10 3	39.048	2.456	15 23	-40.405	-2.190	22 19	42.807	1.931			
11 2	-39.027	-2.355	16 22	40.438	2.037	23 17	-42.830	-2.286				
12 0	39.022	2.530	17 20	-40.464	-2.321	24 16	42.984	2.103				
12 23	-39.087	-2.432	18 19	40.580	2.173	25 15	-42.984	-1.907				
13 22	39.119	2.331	19 18	-40.566	-2.011	26 13	43.079	2.272				
14 20	-39.067	-2.511	20 16	40.645	2.308	27 12	-43.171	-2.081				
15 19	39.183	2.413	21 15	-40.720	-2.150	28 11	43.220	1.890				
16 18	-39.165	-2.303	22 14	40.744	1.991	29 9	-43.278	-2.252				
17 16	39.166	2.496	23 12	-40.794	-2.289	30 8	43.416	2.065				
18 15	-39.238	-2.390	24 11	40.906	2.134	31 7	-43.396	-1.866				
19 14	39.267	2.280	25 10	-40.883	-1.964	Janv.	1 5	43.533	2.238			

DIONÉ 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	15	-57.797	-4.810	Mars	4	4	61.578	5.267	Mai	4	18	-58.642	-5.481
	3	0	57.661	4.811		5	13	-61.886	-5.349		6	2	58.254	5.095
	4	9	-58.019	-4.855		6	22	61.616	5.374		7	11	-58.407	-5.189
	5	17	57.907	4.778		8	7	-61.865	-5.456		8	20	58.043	5.207
	7	2	-58.329	-4.828		9	16	61.562	5.481		10	5	-58.154	-5.296
	8	11	58.215	4.832		11	0	-61.849	-5.293		11	14	57.771	5.311
	9	20	-58.612	-4.880		12	9	61.596	5.320		12	23	-57.850	-5.395
	11	5	58.459	4.883		13	18	-61.863	-5.406		14	8	57.446	5.409
	12	14	-58.830	-4.932		15	3	61.562	5.433		15	16	-57.588	-5.096
	13	22	58.685	4.845		16	12	-61.786	-5.519		17	1	57.226	5.113
15	7	-59.114	-4.899	17	20	61.452	5.241	18	10	-57.342	-5.197			
16	16	58.989	4.905	19	5	-61.737	-5.333	19	19	56.955	5.211			
18	1	-59.374	-4.957	20	14	61.454	5.361	21	4	-57.047	-5.291			
19	10	59.224	4.964	21	23	-61.681	-5.450	22	13	56.641	5.300			
20	19	-59.572	-5.015	23	8	61.367	5.479	23	21	-56.747	-4.991			
22	3	59.426	4.917	24	17	-61.546	-5.566	25	6	56.394	5.003			
23	12	-59.839	-4.973	26	1	61.220	5.264	26	15	-56.509	-5.085			
24	21	59.701	4.983	27	10	-61.473	-5.356	28	0	56.137	5.094			
26	6	-60.080	-5.040	28	19	61.155	5.385	29	9	-56.230	-5.170			
27	15	59.906	5.049	30	4	-61.368	-5.477	30	18	55.836	5.177			
29	0	-60.248	-5.106	Avril	31	13	61.011	5.505	Juin	1	3	-55.904	-5.248	
30	8	60.085	4.990		1	22	-61.180	-5.596		2	11	55.553	4.883	
31	17	-60.489	-5.051		3	6	60.840	5.267		3	20	-55.680	-4.961	
Févr.	2	2	60.330		5.065	4	15	-61.062		-5.363	5	5	55.322	4.967
	3	11	-60.694	-5.126	6	0	60.733	5.391	6	14	-55.416	-5.040		
4	20	60.497	5.139	7	9	-60.905	-5.485	7	23	55.050	5.043			
6	5	-60.824	-5.201	8	18	60.544	5.512	9	8	-55.114	-5.110			
7	13	60.650	5.064	10	3	-60.676	-5.602	10	17	54.733	5.110			
8	22	-61.038	-5.131	11	11	60.335	5.253	12	1	-54.860	-4.829			
10	7	60.853	5.146	12	20	-60.534	-5.351	13	10	54.516	4.834			
11	16	-61.195	-5.213	14	5	60.185	5.377	14	19	-54.631	-4.902			
13	1	60.976	5.230	15	14	-60.339	-5.471	16	4	54.270	4.903			
14	10	-61.275	-5.297	16	23	59.962	5.496	17	13	-54.362	-4.966			
15	18	61.101	5.136	18	8	-60.072	-5.585	18	22	53.989	4.962			
17	3	-61.462	-5.208	19	16	59.725	5.221	20	6	-54.064	-4.696			
18	12	61.254	5.228	21	1	-59.899	-5.316	21	15	53.739	4.698			
19	21	-61.566	-5.299	22	10	59.541	5.342	23	0	-53.865	-4.762			
21	6	61.323	5.320	23	19	-59.678	-5.434	24	9	53.528	4.760			
22	14	-61.610	-5.182	25	4	59.287	5.456	25	18	-53.634	-4.820			
23	23	61.420	5.205	26	13	-59.390	-5.546	27	3	53.280	4.813			
25	8	-61.746	-5.282	27	21	59.020	5.167	28	12	-53.368	-4.867			
26	17	61.510	5.305	29	6	-59.187	-5.263	29	21	53.003	4.857			
28	2	-61.797	-5.381	30	15	58.818	5.284	Juill.	1	5	-53.135	-4.624		
Mars	1	11	61.513	5.405	2	0	-58.943		-5.375	2	14	52.821	4.621	
	2	19	-61.815	-5.243	3	9	58.550		5.394	3	23	-52.937	-4.675	

DIONÉ 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date				Date				Date			
Mois	j	h	"	Mois	j	h	"	Mois	j	h	"
Juill.	5	8	52.616	Sept.	4	23	-49.844	Nov.	5	14	50.946
	6	17	-52.714		6	8	49.619		6	23	-51.259
	8	2	52.381		7	17	-49.803		8	8	51.117
	9	11	-52.466		9	2	49.568		9	17	-51.414
	10	19	52.146		10	11	-49.745		11	2	51.263
	12	4	-52.292		11	19	49.516		12	11	-51.541
	13	13	51.983		13	4	-49.750		13	19	51.423
	14	22	-52.113		14	13	49.540		15	4	-51.758
	16	7	51.797		15	22	-49.760		16	13	51.642
	17	16	-51.906		17	7	49.547		17	22	-51.960
	19	1	51.581		18	16	-49.746		19	7	51.833
	20	9	-51.685		20	1	49.533		20	16	-52.132
	21	18	51.400		21	10	-49.716		22	1	51.996
	23	3	-51.554		22	18	49.524		23	9	-52.316
	24	12	51.257		24	3	-49.768		24	18	52.219
	25	21	-51.394		25	12	49.579		26	3	-52.564
	27	6	51.093		26	21	-49.813		27	12	52.450
28	15	-51.209	28	6	49.616	28	21	-52.782			
30	0	50.903	29	15	-49.834	30	6	52.651			
31	8	-51.036	Oct.	1	0	49.632	Déc.	1	15	-52.967	
Août	1	17	50.775	2	9	-49.832	2	23	52.846		
	3	2	-50.929	3	17	49.671	4	8	-53.217		
	4	11	50.655	5	2	-49.928	5	17	53.120		
	5	20	-50.797	6	11	49.759	7	2	-53.470		
	7	5	50.511	7	20	-50.009	8	11	53.361		
	8	14	-50.642	9	5	49.819	9	20	-53.694		
	9	23	50.348	10	14	-50.063	11	5	53.560		
	11	7	-50.517	11	23	49.865	12	13	-53.918		
	12	16	50.265	13	7	-50.109	13	22	53.832		
	14	1	-50.436	14	16	49.957	15	7	-54.206		
	15	10	50.173	16	1	-50.232	16	16	54.109		
	16	19	-50.332	17	10	50.077	18	1	-54.454		
	18	4	50.061	18	19	-50.335	19	10	54.342		
	19	13	-50.206	20	4	50.174	20	19	-54.662		
	20	22	49.927	21	13	-50.422	22	3	54.586		
	22	6	-50.124	22	22	50.244	23	12	-54.975		
	23	15	49.888	24	6	-50.522	24	21	54.881		
25	0	-50.070	25	15	50.383	26	6	-55.255			
26	9	49.831	27	0	-50.678	27	15	55.134			
27	18	-49.997	28	9	50.533	29	0	-55.485			
29	3	49.748	29	18	-50.809	30	8	55.360			
30	12	-49.903	31	3	50.655	31	17	-55.767			
31	20	49.654	Nov.	1	12	-50.919	Janv.	2	2	55.682	
Sept.	2	5	-49.866	2	20	50.750					
	3	14	49.650	4	5	-51.075					

RHÉA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y			
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"			
Janv.	1 1	-80.497	-6.271	Avril	12 15	84.436	7.185	Juill.	23 7	-71.874	-5.843
	3 7	80.783	6.280		14 21	-84.203	-7.140		25 14	71.652	5.905
	5 14	-81.089	-6.348		17 3	83.944	7.053		27 20	-71.489	-5.839
	7 20	81.423	6.363		19 9	-83.696	-7.003	30 2	71.308	5.758	
	10 2	-81.740	-6.384		21 16	83.440	7.228	Août	1 8	-71.134	-5.697
	12 8	82.022	6.395		23 22	-83.177	-7.175		3 15	70.964	5.740
	14 14	-82.331	-6.415	26 4	82.913	7.080	5 21	-70.823	-5.681		
	16 21	82.593	6.489	28 10	-82.636	-7.019	8 3	70.662	5.612		
	19 3	-82.891	-6.513	30 16	82.330	6.919	10 9	-70.519	-5.562		
	21 9	83.176	6.526	Mai	2 23	-82.021	-7.176	12 16	70.395	5.584	
23 15	-83.467	-6.548	5 5		81.751	7.072	14 22	-70.271	-5.534		
25 21	83.693	6.555	7 11		-81.458	-7.006	17 4	70.142	5.480		
28 3	-83.946	-6.573	9 17		81.149	6.897	19 11	-70.039	-5.491		
30 10	84.180	6.672	11 23	-80.813	-6.822	21 17	69.933	5.441			
Févr.	1 16	-84.434	-6.695	14 6	80.516	7.034	23 23	-69.857	-5.402		
	3 22	84.649	6.702	16 12	-80.210	-6.959	26 5	69.737	5.361		
	6 4	-84.860	-6.720	18 18	79.890	6.843	28 12	-69.689	-5.349		
	8 10	85.050	6.722	21 0	-79.579	-6.765	30 18	69.614	5.313		
	10 16	-85.221	-6.735	23 6	79.239	6.647	Sept.	2 0	-69.555	-5.284	
	12 23	85.379	6.860	25 13	-78.925	-6.880		4 7	69.493	5.249	
	15 5	-85.566	-6.880	27 19	78.623	6.761	6 13	-69.471	-5.223		
	17 11	85.709	6.876	30 1	-78.311	-6.678	8 19	69.413	5.202		
	19 17	-85.831	-6.888	Juin	1 7	77.981	6.561	11 1	-69.390	-5.185	
	21 23	85.927	6.876		3 14	-77.652	-6.773	13 8	69.377	5.131	
24 5	-86.029	-6.882	5 20		77.366	6.654	15 14	-69.374	-5.115		
26 12	86.091	7.040	8 2	-77.066	-6.571	17 20	69.346	5.110			
28 18	-86.174	-7.048	10 8	76.749	6.451	20 3	-69.375	-5.031			
Mars	3 0	86.230	7.031	12 15	-76.413	-6.643	22 9	69.376	5.029		
	5 6	-86.270	-7.034	14 21	76.158	6.527	24 15	-69.417	-5.026		
	7 12	86.269	7.006	17 3	-75.866	-6.442	26 22	69.410	4.933		
	9 18	-86.255	-6.999	19 9	75.550	6.324	Oct.	29 4	-69.489	-4.932	
	12 1	86.240	7.187	21 15	-75.256	-6.241		1 10	69.520	4.947	
	14 7	-86.217	-7.183	23 22	74.999	6.382		3 16	-69.581	-4.955	
16 13	86.167	7.146	26 4	-74.723	-6.300	5 23		69.637	4.843		
18 19	-86.119	-7.136	28 10	74.439	6.188	8 5	-69.737	-4.853			
21 1	86.029	7.090	30 17	-74.160	-6.336	10 11	69.786	4.882			
23 7	-85.917	-7.071	Juill.	2 23	73.926	6.230	12 17	-69.886	-4.901		
25 14	85.786	7.277		5 5	-73.673	-6.149	15 0	69.986	4.771		
27 20	-85.685	-7.259		7 11	73.407	6.044	17 6	-70.110	-4.791		
30 2	85.549	7.205		9 18	-73.167	-6.171	19 12	70.188	4.835		
12 0	72.952	6.071		21 19	-70.341	-4.668					
Avril	3 14	85.222	7.110	14 6	-72.712	-5.994	24 1	70.457	4.714		
	5 20	-85.036	-7.076	16 12	72.481	5.900	26 7	-70.619	-4.747		
	8 3	84.824	7.296	18 19	-72.278	-6.004	28 13	70.719	4.803		
	10 9	-84.621	-7.258	21 1	72.065	5.911	30 20	-70.922	-4.613		

RHÉA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Nov.	2 2	71.066	4.674	Nov.	24 17	73.103	4.466	Déc.	17 7	75.813	4.618
	4 8	-71.249	-4.715		26 23	-73.388	-4.526		19 13	-76.128	-4.690
	6 15	71.401	4.530		29 5	73.603	4.622		21 20	76.388	4.428
	8 21	-71.628	-4.573	Déc.	1 11	-73.881	-4.684		24 2	-76.749	-4.505
	11 3	71.788	4.646		3 18	74.120	4.449		26 8	77.020	4.617
13 9	-72.017	-4.696	6 0	-74.421	-4.515	28 14	-77.351	-4.695			
15 16	72.197	4.494	8 6	74.672	4.618	30 21	77.607	4.422			
17 22	-72.449	-4.544	10 12	-74.967	-4.687	Janv.	2 3	-77.982	-4.500		
20 4	72.640	4.629	12 19	75.213	4.436						
22 10	-72.895	-4.689	15 1	-75.558	-4.508						

TITAN 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	3 23	186.155	14.375	Mai	11 5	186.867	15.552	Sept.	16 5	159.448	11.759
	11 18	-191.242	-14.890		19 1	-185.746	-16.238		24 1	-162.209	-11.629
	19 21	191.031	14.792		27 4	181.718	15.171	Oct.	2 5	159.728	11.442
	27 16	-195.751	-15.385	Juin	4 0	-180.568	-15.724		10 2	-163.255	-11.168
Févr.	4 19	195.091	15.252		12 3	176.609	14.640	18 6	160.973	11.106	
	12 14	-199.104	-15.927	19 23	-175.672	-15.065	Nov.	26 3	-165.270	-10.737	
	20 16	197.821	15.608	28 3	171.861	14.186		3 6	163.176	10.945	
	28 12	-200.845	-16.460	Juill.	5 23	-171.323		-14.483	11 3	-168.224	-10.503
Mars	8 14	198.857	15.985		14 3	167.715		13.660	19 6	166.284	10.853
	16 9	-200.740	-16.754	21 23	-167.703	-13.847	27 3	-172.037	-10.342		
Avril	24 11	198.042	16.071	30 3	164.324	13.119	Déc.	5 6	170.214	10.801	
	1 6	-198.809	-16.818	Août	6 23	-164.923		-13.214	13 3	-176.568	-10.229
	9 9	195.513	16.122		15 3	161.779	12.612	21 6	174.795	10.759	
	17 4	-195.357	-16.811		23 0	-163.062	-12.657	29 2	-181.591	-10.393	
	25 7	191.627	15.951		31 4	160.144	12.181	Janv.	6 5	179.756	10.971
Mai	3 2	-190.831	-16.542	Sept.	8 1	-162.148	-12.102				

HYPÉRION 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Janv. 1 17	215.926	14.279	Mai 9 14	217.959	16.989	Sept. 14 22	190.092	11.482
12 20	-241.519	-15.592	20 17	-233.356	-15.862	26 2	-197.514	-12.153
23 1	224.536	15.077	30 22	210.947	16.405	Oct. 6 7	192.420	10.548
Févr. 3 5	-248.885	-16.190	Juin 11 3	-224.109	-15.322	17 11	-198.408	-11.763
13 8	229.394	15.873	21 7	203.204	15.511	27 14	195.677	9.806
24 12	-253.877	-16.726	Juill. 2 12	-216.293	-14.570	Nov. 7 19	-202.134	-11.537
Mars 6 16	231.590	16.737	12 18	197.111	14.569	17 23	201.222	9.043
17 19	-253.351	-16.974	23 22	-207.891	-13.852	29 1	-206.130	-11.424
27 22	230.675	17.271	Août 3 3	193.445	13.562	Déc. 9 5	209.315	8.688
Avril 8 2	-249.664	-16.887	14 8	-202.531	-13.211	20 7	-212.729	-11.532
18 6	225.034	17.458	24 12	190.602	12.479	30 10	217.144	8.588
29 9	-243.377	-16.513	Sept. 4 18	-199.896	-12.686	Janv. 10 12	-220.992	-11.732

JAPET 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date	X	Y	Date	X	Y	Date	X	Y
Mois j h	"	"	Mois j h	"	"	Mois j h	"	"
Janv. 15 0	-546.631	84.717	Juin 21 1	-500.438	64.991	Nov. 30 15	-488.332	94.713
Févr. 23 20	582.880	-81.787	Août 1 5	482.178	-66.267	Janv. 10 11	527.204	-100.459
Avril 2 23	-566.377	75.415	Sept. 10 5	-460.339	74.064			
Mai 12 21	549.302	-66.939	Oct. 21 19	471.749	-80.814			

SATELLITES D'URANUS

Coordonnées différentielles tangentielles (X,Y)
aux heures les plus proches des plus grandes élongations

MIRANDA.....	II. 138
ARIEL.....	II. 142
UMBRIEL.....	II. 145
TITANIA.....	II. 147
OBÉRON.....	II. 148

MIRANDA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Janv.	1	6	2.474	-7.775	Févr.	2	2	-2.505	7.081	Mars	5	21	2.624	-7.224
	1	23	-2.469	7.718		2	19	2.512	-7.083		6	14	-2.622	7.160
	2	16	2.474	-7.719		3	12	-2.506	7.017		7	7	2.632	-7.165
	3	9	-2.469	7.661		4	4	2.514	-7.701		8	0	-2.629	7.101
	4	2	2.474	-7.662		4	21	-2.511	7.649		8	17	2.639	-7.105
	4	19	-2.468	7.602		5	14	2.519	-7.652		9	10	-2.637	7.040
	5	12	2.474	-7.605		6	7	-2.517	7.599		10	3	2.646	-7.043
	6	5	-2.467	7.541		7	0	2.525	-7.602		10	20	-2.644	6.980
	6	22	2.473	-7.546		7	17	-2.523	7.547		11	13	2.653	-6.978
	7	15	-2.467	7.480		8	10	2.531	-7.550		12	6	-2.651	6.916
	8	8	2.473	-7.485		9	3	-2.529	7.493		12	23	2.660	-6.914
9	1	-2.466	7.419	9	20	2.537	-7.499	13	16	-2.658	6.851			
9	18	2.472	-7.422	10	13	-2.534	7.438	14	9	2.666	-6.850			
10	11	-2.464	7.355	11	6	2.542	-7.444	15	2	-2.664	6.784			
11	3	2.471	-7.977	11	23	-2.539	7.382	15	19	2.672	-6.784			
11	20	-2.468	7.926	12	16	2.548	-7.387	16	12	-2.670	6.715			
12	13	2.475	-7.930	13	9	-2.544	7.326	17	5	2.679	-6.718			
13	6	-2.471	7.880	14	2	2.553	-7.330	17	22	-2.676	6.644			
13	23	2.478	-7.882	14	19	-2.549	7.268	18	15	2.685	-6.648			
14	16	-2.475	7.831	15	12	2.558	-7.270	19	8	-2.681	6.574			
15	9	2.482	-7.835	16	5	-2.554	7.210	20	1	2.691	-6.576			
16	2	-2.478	7.781	16	22	2.562	-7.209	20	18	-2.686	6.504			
16	19	2.485	-7.785	17	15	-2.559	7.149	21	11	2.696	-6.503			
17	12	-2.481	7.729	18	8	2.566	-7.147	22	4	-2.692	6.431			
18	5	2.489	-7.736	19	1	-2.563	7.086	22	21	2.701	-6.429			
18	22	-2.484	7.676	19	18	2.571	-7.086	23	14	-2.697	6.358			
19	15	2.492	-7.683	20	11	-2.568	7.021	24	7	2.705	-6.353			
20	8	-2.487	7.622	21	4	2.575	-7.022	24	23	-2.703	7.138			
21	1	2.494	-7.628	21	21	-2.572	6.955	25	16	2.713	-7.138			
21	18	-2.489	7.569	22	14	2.580	-6.959	26	9	-2.713	7.079			
22	11	2.497	-7.572	23	7	-2.575	6.888	27	2	2.723	-7.082			
23	4	-2.492	7.513	24	0	2.584	-6.892	27	19	-2.722	7.017			
23	21	2.499	-7.515	24	17	-2.579	6.821	28	12	2.732	-7.021			
24	14	-2.495	7.457	25	10	2.587	-6.823	29	5	-2.732	6.956			
25	7	2.501	-7.456	26	3	-2.583	6.754	29	22	2.742	-6.961			
26	0	-2.497	7.398	26	20	2.591	-6.752	30	15	-2.740	6.892			
26	17	2.503	-7.397	27	13	-2.586	6.684	31	8	2.751	-6.897			
27	10	-2.499	7.337	28	6	2.594	-6.681	Avril	1	1	-2.749	6.828		
28	3	2.506	-7.339	28	22	-2.591	7.387		1	18	2.760	-6.831		
28	20	-2.501	7.274	Mars	1	15	2.600		-7.389	2	11	-2.758	6.765	
29	13	2.507	-7.277		2	8	-2.599	7.333	3	4	2.768	-6.764		
30	6	-2.502	7.211		3	1	2.608	-7.334	3	21	-2.766	6.698		
30	23	2.510	-7.215	3	18	-2.607	7.277	4	14	2.776	-6.696			
31	16	-2.503	7.146	4	11	2.616	-7.281	5	7	-2.775	6.630			
Févr.	1	9	2.511	-7.150	5	4	-2.615	7.218	6	0	2.784	-6.628		

MIRANDA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Avril	6 17	-2.782	6.560	Mai	8 12	2.960	-6.853	Juin	9 8	-3.130	6.163
	7 10	2.791	-6.558		9 5	-2.960	6.789		10 1	3.140	-6.164
	8 3	-2.789	6.487		9 22	2.971	-6.787		10 18	-3.134	6.082
	8 20	2.799	-6.489		10 15	-2.971	6.722		11 11	3.144	-6.081
	9 13	-2.796	6.413		11 8	2.981	-6.721		12 4	-3.139	6.002
	10 6	2.806	-6.416		12 1	-2.981	6.652		12 21	3.147	-5.996
	10 23	-2.803	6.338		12 18	2.991	-6.653		13 14	-3.142	5.918
	11 16	2.812	-6.341		13 11	-2.991	6.581		14 7	3.150	-5.911
	12 9	-2.808	6.264		14 4	3.001	-6.585		15 0	-3.144	5.831
	13 2	2.819	-6.264		14 21	-3.000	6.508		15 16	3.153	-6.886
	13 19	-2.814	6.187		15 14	3.010	-6.513		16 9	-3.153	6.815
	14 12	2.824	-6.186		16 7	-3.008	6.435		17 2	3.163	-6.817
	15 5	-2.820	6.112		17 0	3.019	-6.438		17 19	-3.162	6.744
15 22	2.829	-6.106	17 17	-3.016	6.363	18 12	3.173	-6.749			
16 14	-2.827	6.959	18 10	3.027	-6.362	19 5	-3.170	6.671			
17 7	2.837	-6.958	19 3	-3.024	6.287	19 22	3.181	-6.677			
18 0	-2.838	6.896	19 20	3.034	-6.285	20 15	-3.178	6.598			
18 17	2.848	-6.897	20 13	-3.031	6.211	21 8	3.188	-6.602			
19 10	-2.849	6.831	21 6	3.040	-6.206	22 1	-3.184	6.526			
20 3	2.859	-6.833	21 23	-3.037	6.132	22 18	3.195	-6.525			
20 20	-2.859	6.765	22 16	3.046	-6.127	23 11	-3.190	6.450			
21 13	2.869	-6.769	23 9	-3.043	6.050	24 4	3.200	-6.448			
22 6	-2.868	6.697	24 2	3.052	-6.049	24 21	-3.196	6.374			
22 23	2.879	-6.702	24 19	-3.048	5.967	25 14	3.204	-6.369			
23 16	-2.877	6.629	25 12	3.057	-5.966	26 7	-3.201	6.294			
24 9	2.888	-6.632	26 5	-3.052	5.883	27 0	3.208	-6.290			
25 2	-2.886	6.561	26 22	3.061	-5.884	27 17	-3.204	6.212			
25 19	2.897	-6.561	27 14	-3.057	6.826	28 10	3.212	-6.212			
26 12	-2.895	6.490	28 7	3.069	-6.831	29 3	-3.206	6.128			
27 5	2.906	-6.488	29 0	-3.067	6.758	29 20	3.214	-6.129			
27 22	-2.904	6.419	29 17	3.079	-6.762	Juill.	30 13	-3.208	6.043		
28 15	2.913	-6.415	30 10	-3.078	6.692		1 6	3.216	-6.046		
29 8	-2.912	6.344	31 3	3.089	-6.691		1 23	-3.208	5.958		
30 1	2.921	-6.341	31 20	-3.087	6.621		2 16	3.217	-5.960		
30 18	-2.919	6.267	Juin	1 13	3.098		-6.619	3 8	-3.210	6.950	
Mai	1 11	2.928		-6.267	2 6		-3.097	6.550	4 1	3.222	-6.953
	2 4	-2.925	6.189	2 23	3.106	-6.547	4 18	-3.219	6.883		
	2 21	2.935	-6.190	3 16	-3.105	6.475	5 11	3.229	-6.882		
	3 14	-2.931	6.110	4 9	3.114	-6.473	6 4	-3.226	6.812		
	4 7	2.941	-6.112	5 2	-3.112	6.399	6 21	3.236	-6.810		
	5 0	-2.937	6.030	5 19	3.122	-6.401	7 14	-3.233	6.739		
	5 17	2.947	-6.031	6 12	-3.119	6.320	8 7	3.241	-6.738		
	6 10	-2.942	5.949	7 5	3.128	-6.323	9 0	-3.238	6.664		
	7 3	2.952	-5.948	7 22	-3.125	6.241	9 17	3.246	-6.663		
	7 19	-2.949	6.854	8 15	3.135	-6.245	10 10	-3.242	6.587		

MIRANDA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juill.	11 3	3.251	-6.590	Août	11 22	-3.272	6.952	Sept.	12 17	3.222	-7.351
	11 20	-3.246	6.508		12 15	3.278	-6.951		13 10	-3.213	7.281
	12 13	3.254	-6.512		13 8	-3.272	6.876		14 3	3.219	-7.277
	13 6	-3.248	6.429		14 1	3.278	-6.876		14 20	-3.210	7.208
	13 23	3.257	-6.432		14 18	-3.270	6.798		15 13	3.215	-7.204
	14 16	-3.249	6.350		15 11	3.277	-6.801		16 6	-3.205	7.132
	15 9	3.258	-6.350		16 4	-3.267	6.718		16 23	3.210	-7.131
	16 2	-3.250	6.269		16 21	3.274	-6.722		17 16	-3.200	7.054
	16 19	3.258	-6.267		17 14	-3.264	6.638		18 9	3.204	-7.055
	17 12	-3.251	6.188		18 7	3.271	-6.641		19 2	-3.193	6.976
	18 5	3.257	-6.182		19 0	-3.260	6.560		19 19	3.198	-6.979
18 22	-3.249	6.102	19 17	3.266	-6.558	20 12	-3.185	6.896			
19 15	3.255	-6.096	20 10	-3.255	6.477	21 5	3.190	-6.899			
20 7	-3.248	7.094	21 3	3.260	-6.474	21 22	-3.176	6.815			
21 0	3.257	-7.096	21 20	-3.249	6.395	22 15	3.181	-6.816			
22 10	-3.263	7.023	22 12	3.256	-7.438	23 7	-3.171	7.717			
23 3	-3.260	6.952	23 5	-3.251	7.372	24 0	3.179	-7.717			
23 20	3.269	-6.957	23 22	3.258	-7.371	24 17	-3.170	7.652			
24 13	-3.263	6.879	24 15	-3.253	7.302	25 10	3.178	-7.651			
25 6	3.273	-6.884	25 8	3.260	-7.305	26 3	-3.170	7.586			
25 23	-3.267	6.805	26 1	-3.253	7.230	26 20	3.175	-7.584			
26 16	3.276	-6.808	26 18	3.260	-7.234	27 13	-3.167	7.517			
27 9	-3.269	6.733	27 11	-3.252	7.158	28 6	3.172	-7.515			
28 2	3.278	-6.731	28 4	3.259	-7.163	28 23	-3.164	7.446			
28 19	-3.271	6.656	28 21	-3.250	7.085	29 16	3.169	-7.448			
29 12	3.278	-6.653	29 14	3.258	-7.088	Oct.	30 9	-3.159	7.373		
30 5	-3.271	6.578	30 7	-3.248	7.010		1 2	3.165	-7.376		
30 22	3.278	-6.574	31 0	3.255	-7.011		1 19	-3.154	7.300		
31 15	-3.271	6.497	31 17	-3.245	6.936		2 12	3.160	-7.303		
			Sept. 1 10	3.250	-6.933		3 5	-3.148	7.227		
Août	1 8	3.277	-6.494	2 3	-3.240	6.858	3 22	3.153	-7.228		
	2 1	-3.269	6.414	2 20	3.245	-6.854	4 15	-3.141	7.151		
	2 18	3.275	-6.415	3 13	-3.235	6.779	5 8	3.146	-7.151		
	3 11	-3.266	6.329	4 6	3.239	-6.775	6 1	-3.134	7.077		
	4 4	3.272	-6.332	4 23	-3.228	6.697	6 18	3.138	-7.072		
	4 21	-3.262	6.244	5 16	3.232	-6.694	7 11	-3.125	6.998		
	5 14	3.268	-6.247	6 9	-3.220	6.613	8 4	3.129	-6.993		
	6 6	-3.261	7.235	7 1	3.225	-7.626	8 20	-3.116	7.846		
	6 23	3.271	-7.239	7 18	-3.218	7.554	9 13	3.122	-7.847		
	7 16	-3.265	7.166	8 11	3.226	-7.560	10 6	-3.115	7.782		
	8 9	3.274	-7.168	9 4	-3.218	7.487	10 23	3.121	-7.783		
9 2	-3.268	7.098	9 21	3.226	-7.492	11 16	-3.113	7.716			
9 19	3.276	-7.096	10 14	-3.217	7.420	12 9	3.120	-7.720			
10 12	-3.270	7.026	11 7	3.225	-7.422	13 2	-3.110	7.649			
11 5	3.278	-7.023	12 0	-3.215	7.350	13 19	3.117	-7.653			

MIRANDA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	14	12	-3.107	7.581	Nov.	10	9	-3.007	7.116	Déc.	7	5	-2.949	7.486
	15	5	3.114	-7.584		11	2	3.011	-7.109		7	22	2.955	-7.483
	15	22	-3.103	7.514		11	18	-3.000	7.883		8	15	-2.947	7.417
	16	15	3.109	-7.514		12	11	3.006	-7.881		9	8	2.954	-7.418
	17	8	-3.098	7.443		13	4	-2.999	7.822		10	1	-2.944	7.348
	18	1	3.104	-7.442		13	21	3.005	-7.822		10	18	2.951	-7.349
	18	18	-3.093	7.373		14	14	-2.998	7.758		11	11	-2.941	7.278
	19	11	3.097	-7.368		15	7	3.004	-7.759		12	4	2.948	-7.278
	20	4	-3.087	7.299		16	0	-2.996	7.693		12	21	-2.938	7.209
	20	21	3.091	-7.295		16	17	3.003	-7.696		13	14	2.945	-7.206
	21	14	-3.079	7.223		17	10	-2.993	7.627		14	7	-2.935	7.137
	22	7	3.083	-7.222		18	3	3.000	-7.630		15	0	2.941	-7.132
	23	0	-3.071	7.146		18	20	-2.990	7.560		15	17	-2.932	7.065
23	17	3.075	-7.145	19	13	2.997	-7.562	16	10	2.937	-7.058			
24	10	-3.063	7.067	20	6	-2.987	7.495	17	3	-2.927	6.991			
25	3	3.067	-7.069	20	23	2.994	-7.492	17	20	2.933	-6.983			
25	19	-3.056	7.877	21	16	-2.983	7.426	18	13	-2.923	6.914			
26	12	3.064	-7.882	22	9	2.989	-7.422	19	6	2.928	-6.909			
27	5	-3.055	7.815	23	2	-2.979	7.356	19	22	-2.920	7.648			
27	22	3.062	-7.817	23	19	2.984	-7.351	20	15	2.928	-7.649			
28	15	-3.053	7.753	24	12	-2.974	7.284	21	8	-2.922	7.586			
29	8	3.060	-7.752	25	5	2.979	-7.278	22	1	2.931	-7.589			
30	1	-3.051	7.688	25	22	-2.969	7.209	22	18	-2.923	7.524			
30	18	3.057	-7.685	26	15	2.974	-7.208	23	11	2.932	-7.526			
31	11	-3.048	7.622	27	8	-2.963	7.133	24	4	-2.924	7.461			
Nov.	1	4	3.053	-7.619	28	1	2.968	-7.133	24	21	2.933	-7.461		
	1	21	-3.044	7.553	28	18	-2.956	7.057	25	14	-2.925	7.399		
	2	14	3.049	-7.550	29	11	2.962	-7.057	26	7	2.933	-7.395		
	3	7	-3.039	7.482	30	3	-2.951	7.800	27	0	-2.925	7.333		
	4	0	3.044	-7.483	30	20	2.959	-7.803	27	17	2.933	-7.328		
	4	17	-3.034	7.410	Déc.	1	13	-2.951	7.740	28	10	-2.926	7.267	
	5	10	3.039	-7.412		2	6	2.959	-7.741	29	3	2.933	-7.261	
	6	3	-3.027	7.337		2	23	-2.951	7.680	29	20	-2.926	7.198	
	6	20	3.033	-7.339		3	16	2.959	-7.677	30	13	2.933	-7.193	
	7	13	-3.021	7.265		4	9	-2.951	7.617	31	6	-2.925	7.127	
	8	6	3.026	-7.264		5	2	2.958	-7.613	31	23	2.932	-7.125	
	8	23	-3.014	7.190	5	19	-2.950	7.552						
	9	16	3.019	-7.187	6	12	2.956	-7.549						

ARIEL 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y	
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	
Janv.	2	0	-3.430	12.326	Févr.	27	19	3.463	-11.427	Avril	25	13	-3.732	10.912	
	3	6	3.433	-12.369		Mars	1	1	-3.462		11.489	26	19	3.747	-11.083
	4	13	-3.422	12.213			2	7	3.474		-11.597	28	2	-3.745	10.625
	5	19	3.431	-12.274			3	13	-3.469		11.647	29	8	3.763	-10.805
	7	1	-3.423	12.274			4	20	3.480		-11.400	30	14	-3.764	10.922
	8	7	3.426	-12.321			6	2	-3.479		11.464	Mai	1	20	3.777
	9	14	-3.416	12.159	7	8	3.490	-11.579	3		3		-3.777	10.626	
	10	20	3.426	-12.226	8	14	-3.483	11.625	4		9		3.796	-10.814	
	12	2	-3.416	12.223	9	21	3.499	-11.380	5		15		-3.794	10.925	
	13	8	3.420	-12.273	11	3	-3.497	11.442	6		21		3.808	-11.101	
	14	15	-3.413	12.112	12	9	3.508	-11.559	8		4		-3.809	10.629	
	15	21	3.421	-12.175	13	16	-3.504	11.229	9		10		3.827	-10.819	
	17	3	-3.412	12.178	14	22	3.519	-11.359	10		16	-3.826	10.938		
	18	10	3.416	-12.046	16	4	-3.517	11.427	11		22	3.837	-11.110		
	19	16	-3.411	12.064	17	10	3.526	-11.544	13		5	-3.842	10.639		
	20	22	3.419	-12.131	18	17	-3.527	11.210	14		11	3.858	-10.828		
	22	4	-3.408	12.132	19	23	3.541	-11.346	15		17	-3.857	10.948		
	23	11	3.416	-12.001	21	5	-3.537	11.413	17		0	3.870	-10.516		
	24	17	-3.410	12.020	22	12	3.550	-11.113	18		6	-3.872	10.647		
25	23	3.418	-12.087	23	18	-3.550	11.195	19	12	3.889	-10.841				
27	5	-3.407	12.092	25	0	3.564	-11.332	20	18	-3.886	10.962				
28	12	3.418	-11.958	26	6	-3.560	11.404	22	1	3.901	-10.523				
29	18	-3.412	11.977	27	13	3.575	-11.099	23	7	-3.903	10.659				
Févr.	31	0	3.418	-12.048	28	19	-3.576	11.184	24	13	3.919	-10.855			
	1	7	-3.410	11.830	30	1	3.588	-11.324	25	19	-3.917	10.978			
2	13	3.421	-11.918	Avril	31	8	-3.584	10.932	27	2	3.931	-10.535			
3	19	-3.414	11.940		1	14	3.602	-11.089	28	8	-3.933	10.670			
5	1	3.420	-12.009		2	20	-3.601	11.177	29	14	3.948	-10.871			
6	8	-3.416	11.794		4	2	3.613	-11.317	30	20	-3.944	10.997			
7	14	3.426	-11.879		5	9	-3.613	10.925	Juin	1	3	3.960	-10.547		
8	20	-3.419	11.904		6	15	3.629	-11.080		2	9	-3.961	10.688		
10	3	3.426	-11.719	7	21	-3.628	11.172	3		15	3.977	-10.886			
11	9	-3.423	11.755	9	3	3.639	-11.317	4		21	-3.972	11.016			
12	15	3.433	-11.847	10	10	-3.642	10.915	6		4	3.988	-10.564			
13	21	-3.424	11.870	11	16	3.658	-11.080	7		10	-3.989	10.702			
15	4	3.436	-11.684	12	22	-3.656	11.167	8		16	4.003	-10.909			
16	10	-3.432	11.725	14	5	3.669	-10.808	9	22	-3.998	11.034				
17	16	3.440	-11.813	15	11	-3.672	10.916	11	5	4.014	-10.579				
18	23	-3.433	11.545	16	17	3.687	-11.075	12	11	-4.014	10.724				
20	5	3.446	-11.649	17	23	-3.684	11.172	13	17	4.028	-10.925				
21	11	-3.443	11.695	19	6	3.700	-10.802	14	23	-4.023	11.061				
22	17	3.451	-11.789	20	12	-3.702	10.913	16	6	4.038	-10.593				
24	0	-3.446	11.512	21	18	3.717	-11.080	17	12	-4.038	10.741				
25	6	3.460	-11.625	23	0	-3.713	11.172	18	18	4.052	-10.951				
26	12	-3.454	11.666	24	7	3.732	-10.807	20	0	-4.046	11.080				

ARIEL 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Juin	21 7	4.061	-10.617	Août	16 23	-4.138	11.669	Oct.	12 15	3.948	-12.372
	22 13	-4.060	10.758		18 5	4.142	-11.866		13 21	-3.931	12.448
	23 19	4.074	-10.972		19 12	-4.132	11.341		15 4	3.935	-12.099
	25 1	-4.068	11.109		20 18	4.141	-11.554		16 10	-3.922	12.189
	26 8	4.081	-10.631		22 0	-4.130	11.688		17 16	3.926	-12.342
Juill.	27 14	-4.080	10.784	23 6	4.134	-11.876	18 22	-3.909	12.421		
	28 20	4.093	-10.992	24 13	-4.121	11.358	20 5	3.909	-12.065		
	30 2	-4.087	11.132	25 19	4.129	-11.563	21 11	-3.899	12.162		
	1 9	4.099	-10.655	27 1	-4.119	11.697	22 17	3.902	-12.306		
	2 15	-4.097	10.801	28 7	4.124	-11.892	23 23	-3.887	12.386		
	3 21	4.111	-11.020	29 13	-4.108	12.005	25 5	3.886	-12.518		
	5 3	-4.103	11.154	30 20	4.116	-11.576	26 12	-3.874	12.121		
Sept.	6 10	4.114	-10.673	1 2	-4.105	11.703	27 18	3.879	-12.273		
	7 16	-4.113	10.828	2 8	4.111	-11.898	29 0	-3.864	12.345		
	8 22	4.125	-11.039	3 14	-4.097	12.017	30 6	3.865	-12.477		
	10 4	-4.119	11.183	4 21	4.098	-11.577	31 13	-3.851	12.087		
	11 11	4.126	-10.692	6 3	-4.090	11.712	1 19	3.855	-12.229		
	12 17	-4.125	10.847	7 9	4.095	-11.900	3 1	-3.843	12.308		
	13 23	4.138	-11.066	8 15	-4.082	12.019	4 7	3.843	-12.432		
15 5	-4.130	11.204	9 21	4.083	-12.195	5 14	-3.827	12.042			
Oct.	16 11	4.138	-11.409	11 4	-4.070	11.710	6 20	3.834	-12.189		
	17 18	-4.133	10.867	12 10	4.078	-11.904	8 2	-3.820	12.260		
	19 0	4.147	-11.086	13 16	-4.064	12.017	9 8	3.823	-12.389		
	20 6	-4.140	11.231	14 22	4.066	-12.192	10 14	-3.805	12.445		
	21 12	4.147	-11.434	16 5	-4.051	11.710	11 21	3.812	-12.140		
	22 19	-4.141	10.889	17 11	4.057	-11.898	13 3	-3.800	12.215		
	24 1	4.153	-11.109	18 17	-4.046	12.015	14 9	3.802	-12.338		
Août	25 7	-4.146	11.252	19 23	4.047	-12.187	15 15	-3.787	12.398		
	26 13	4.154	-11.459	21 5	-4.031	12.287	16 22	3.790	-12.089		
	27 20	-4.143	10.909	22 12	4.036	-11.893	18 4	-3.780	12.163		
	29 2	4.157	-11.130	23 18	-4.024	12.006	19 10	3.783	-12.289		
	30 8	-4.149	11.275	25 0	4.028	-12.178	20 16	-3.767	12.345		
	31 14	4.157	-11.480	26 6	-4.011	12.277	21 23	3.771	-12.039		
	1 20	-4.145	11.612	27 13	4.012	-11.878	23 5	-3.760	12.110		
3 3	4.156	-11.152	28 19	-4.002	11.994	24 11	3.764	-12.234			
Oct.	4 9	-4.150	11.294	30 1	4.006	-12.165	25 17	-3.750	12.292		
	5 15	4.157	-11.504	1 7	-3.991	12.261	27 0	3.752	-11.984		
	6 21	-4.146	11.632	2 13	3.991	-12.417	28 6	-3.743	12.056		
	8 4	4.154	-11.170	3 20	-3.978	11.974	29 12	3.747	-12.181		
	9 10	-4.147	11.315	5 2	3.983	-12.147	30 18	-3.733	12.235		
	10 16	4.155	-11.520	6 8	-3.969	12.244	Déc. 2 1	3.735	-11.930		
	11 22	-4.143	11.656	7 14	3.970	-12.394	3 7	-3.726	12.001		
13 5	4.147	-11.182	8 21	-3.953	11.956	4 13	3.731	-12.123			
14 11	-4.141	11.330	10 3	3.959	-12.122	5 19	-3.717	12.180			
15 17	4.150	-11.541	11 9	-3.946	12.220	7 2	3.720	-11.871			

ARIEL 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Déc.	8	8	-3.711	11.944	Déc.	17	4	3.694	-11.755	Déc.	25	23	-3.669	11.947
	9	14	3.716	-12.068		18	10	-3.687	11.830		27	6	3.677	-11.642
	10	20	-3.703	12.120		19	16	3.692	-11.948		28	12	-3.669	11.715
	12	3	3.706	-11.817		20	22	-3.679	12.007		29	18	3.674	-11.833
	13	9	-3.698	11.884		22	5	3.685	-11.701		31	0	-3.663	11.894
	14	15	3.703	-12.009		23	11	-3.676	11.768					
	15	21	-3.690	12.066		24	17	3.683	-11.895					

UMBRIEL 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	2 9	-4.793	17.152	Avril	5 19	5.045	-15.453	Juill.	8 2	-5.748	15.586
	4 11	4.786	-17.108		7 21	-5.072	15.287		10 4	5.743	-15.534
	6 12	-4.785	17.151		9 23	5.075	-15.224		12 6	-5.764	15.324
	8 14	4.778	-17.109		12 0	-5.105	15.494		14 8	5.756	-15.270
	10 16	-4.780	17.035		14 2	5.111	-15.439		16 9	-5.775	15.635
	12 18	4.772	-16.987		16 4	-5.138	15.267		18 11	5.768	-15.589
	14 20	-4.772	16.897		18 6	5.146	-15.219		20 13	-5.783	15.367
	16 21	4.766	-16.999		20 7	-5.170	15.483		22 15	5.776	-15.322
	18 23	-4.769	16.919		22 9	5.179	-15.439		24 16	-5.789	15.677
	21 1	4.767	-16.882		24 11	-5.207	15.263		26 18	5.785	-15.645
23 3	-4.767	16.781	26 13	5.217	-15.220	28 20	-5.792	15.400			
25 5	4.765	-16.744	28 15	-5.239	15.016	30 21	5.787	-15.958			
27 6	-4.765	16.813	30 17	5.251	-14.981	Août	1 23	-5.796	15.716		
29 8	4.766	-16.785	Mai	2 18	-5.276		15.260	4 1	5.788	-15.690	
31 10	-4.768	16.677		4 20	5.288		-15.235	6 2	-5.794	16.016	
Févr.	2 12	4.771	-16.652	6 22	-5.312	15.020	8 4	5.787	-16.004		
	4 14	-4.771	16.523	9 0	5.324	-14.993	10 6	-5.790	15.744		
	6 16	4.776	-16.503	11 1	-5.346	15.270	12 7	5.780	-16.297		
	8 17	-4.776	16.583	13 3	5.360	-15.260	14 9	-5.787	16.049		
	10 19	4.782	-16.566	15 5	-5.384	15.029	16 11	5.774	-16.033		
	12 21	-4.785	16.435	17 7	5.395	-15.013	18 12	-5.777	16.336		
	14 23	4.793	-16.420	19 9	-5.418	14.771	20 14	5.764	-16.323		
	17 1	-4.794	16.266	21 10	5.427	-15.286	22 16	-5.768	16.072		
	19 3	4.803	-16.255	23 12	-5.455	15.052	24 18	5.750	-16.056		
	21 4	-4.806	16.356	25 14	5.463	-15.038	26 19	-5.756	16.357		
23 6	4.814	-16.347	27 16	-5.488	14.795	28 21	5.737	-16.335			
25 8	-4.823	16.197	29 18	5.493	-14.772	30 22	-5.742	16.631			
27 10	4.830	-16.182	31 19	-5.524	15.084	Sept.	2 0	5.720	-16.600		
Mars	1 12	-4.839	16.017	Juin	2 21		5.527	-15.068	4 2	-5.725	16.370
	3 14	4.846	-16.001		4 23		-5.556	14.830	6 4	5.702	-16.336
	5 15	-4.857	16.136		7 1	5.554	-14.792	8 5	-5.708	16.636	
	7 17	4.864	-16.122	9 2	-5.587	15.130	10 7	5.683	-16.592		
	9 19	-4.881	15.967	11 4	5.586	-15.097	12 8	-5.687	16.882		
	11 21	4.885	-15.938	13 6	-5.616	14.867	14 10	5.662	-16.833		
	13 23	-4.902	15.773	15 8	5.611	-14.824	16 12	-5.666	16.631		
16 1	4.907	-15.741	17 9	-5.646	15.177	18 14	5.639	-16.570			
18 2	-4.927	15.925	19 11	5.639	-15.128	20 15	-5.644	16.866			
20 4	4.931	-15.892	21 13	-5.670	14.918	22 17	5.618	-16.806			
22 6	-4.955	15.737	23 14	5.661	-15.431	24 18	-5.618	17.084			
24 8	4.957	-15.694	25 16	-5.694	15.225	26 20	5.594	-17.023			
26 10	-4.982	15.535	27 18	5.687	-15.174	Oct.	28 22	-5.594	16.833		
28 12	4.984	-15.480	29 20	-5.713	14.959		1 0	5.568	-16.764		
30 13	-5.010	15.712	Juill.	1 21	5.705		-15.478	3 1	-5.567	17.040	
Avril	1 15	5.014		-15.664	3 23		-5.735	15.280	5 3	5.545	-16.977
	3 17	-5.042		15.507	6 1		5.726	-15.218	7 4	-5.539	17.223

UMBRIEL 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date			X	Y	Date			X	Y	Date			X	Y
Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"	Mois	j	h	"	"
Oct.	9	6	5.520	-17.172	Nov.	7	6	5.340	-17.066	Déc.	6	6	5.187	-16.777
	11	8	-5.513	16.975		9	7	-5.328	17.223		8	7	-5.186	16.939
	13	10	5.492	-16.913		11	9	5.315	-17.195		10	9	5.170	-16.875
	15	11	-5.486	17.153		13	11	-5.305	16.975		12	11	-5.173	16.701
	17	13	5.470	-17.104		15	13	5.292	-16.945		14	13	5.157	-16.628
	19	14	-5.455	17.302		17	14	-5.283	17.099		16	14	-5.157	16.796
	21	16	5.443	-17.269		19	16	5.269	-17.065		18	16	5.142	-16.731
	23	18	-5.431	17.058		21	18	-5.261	16.850		20	18	-5.147	16.557
	25	20	5.416	-17.018		23	19	5.244	-17.168		22	20	5.132	-16.480
	27	21	-5.405	17.209		25	21	-5.242	16.973		24	22	-5.134	16.298
	29	23	5.392	-17.175		27	23	5.226	-16.923		26	23	5.122	-16.588
Nov.	1	1	-5.376	16.949		30	1	-5.220	16.718		29	1	-5.126	16.410
	3	2	5.365	-17.315	Déc.	2	2	5.205	-17.026		31	3	5.117	-16.342
	5	4	-5.353	17.095			4	4	-5.205	16.837				

TITANIA 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	4 10	7.776	-28.117	Mai	6 19	8.647	-24.507	Sept.	5 15	9.307	-27.047
	8 19	-7.793	28.105		11 4	-8.739	24.532		9 23	-9.302	27.415
	13 4	7.754	-27.822		15 12	8.771	-24.585		14 7	9.238	-27.480
	17 13	-7.776	27.802		19 21	-8.861	24.607		18 16	-9.226	27.424
	21 22	7.750	-27.540		24 5	8.897	-24.694		23 0	9.160	-27.474
Févr.	26 7	-7.765	27.475	Juin	28 14	-8.973	24.723	Oct.	27 8	-9.145	27.824
	30 15	7.754	-27.378		1 23	9.013	-24.364		1 16	9.071	-27.795
	4 0	-7.776	27.327		6 7	-9.084	24.842		6 0	-9.058	28.130
	8 9	7.772	-27.073		10 16	9.119	-24.482		10 9	8.979	-27.729
	12 18	-7.801	27.024		15 1	-9.183	24.511		14 17	-8.966	28.038
Mars	17 3	7.808	-26.793	Juill.	19 9	9.221	-24.655	Nov.	19 1	8.894	-27.991
	21 12	-7.837	26.700		23 18	-9.264	24.629		23 9	-8.869	28.257
	25 21	7.857	-26.481		28 2	9.303	-24.788		27 17	8.802	-28.171
	2 6	-7.892	26.387		2 11	-9.337	24.771		1 2	-8.781	28.117
	6 15	7.919	-26.154		6 19	9.366	-24.922		5 10	8.713	-28.012
Avril	11 0	-7.965	26.078	Août	11 3	-9.396	25.364	Déc.	9 19	-8.693	27.939
	15 9	7.992	-25.838		15 12	9.415	-25.107		14 3	8.637	-27.871
	19 18	-8.047	25.742		19 20	-9.433	25.490		18 11	-8.606	28.029
	24 2	8.082	-25.805		24 4	9.445	-25.703		22 20	8.561	-27.673
	28 11	-8.141	25.714		28 13	-9.453	25.630		27 4	-8.534	27.825
Mai	1 20	8.183	-25.484	Sept.	1 21	9.454	-25.825	Déc.	1 12	8.492	-27.744
	6 5	-8.254	25.433		6 5	-9.460	26.226		5 21	-8.471	27.604
	10 14	8.286	-25.148		10 14	9.440	-25.959		10 6	8.435	-27.271
	14 23	-8.369	25.107		14 22	-9.444	26.330		14 14	-8.415	27.365
	19 8	8.403	-24.819		19 6	9.415	-26.509		18 23	8.389	-27.049
Mai	23 16	-8.487	25.138	Sept.	23 14	-9.407	26.853	Déc.	23 7	-8.374	27.142
	28 1	8.526	-24.852		27 23	9.371	-26.581		27 16	8.354	-26.817
	2 10	-8.614	24.859		1 7	-9.365	26.968				

OBÉRON 2009

X, Y aux heures (TT) les plus proches des plus grandes élongations

Équateur moyen J2000 (jour julien 2 451 545.0).

Date		X	Y	Date		X	Y	Date		X	Y
Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"	Mois	j h	"	"
Janv.	2 17	-10.345	37.708	Mai	4 14	-11.431	33.207	Sept.	2 18	-12.376	36.044
	9 11	10.334	-37.528		11 8	11.595	-33.211		9 10	12.343	-36.637
	16 6	-10.300	37.158		18 3	-11.685	32.782		16 3	-12.234	36.898
	23 0	10.300	-36.953		24 21	11.841	-32.792		22 20	12.188	-37.102
	29 19	-10.302	36.626		31 15	-11.933	32.720		29 13	-12.064	37.234
Févr.	5 13	10.314	-36.409	Juin	7 8	12.067	-33.136	Oct.	6 6	12.009	-37.430
	12 8	-10.344	36.099		14 2	-12.151	33.099		12 23	-11.881	37.484
	19 2	10.373	-35.855		20 20	12.255	-33.091		19 16	11.815	-37.605
	25 21	-10.434	35.591		27 14	-12.334	33.127		26 9	-11.700	37.602
Mars	4 16	10.486	-35.149	Juill.	4 7	12.405	-33.491	Nov.	2 2	11.627	-37.661
	11 10	-10.566	35.090		11 1	-12.463	33.558		8 19	-11.524	37.620
	18 5	10.649	-34.636		17 18	12.501	-33.851		15 12	11.446	-37.573
	25 0	-10.740	34.360		24 11	-12.532	34.377		22 6	-11.370	37.313
	31 18	10.849	-34.162		31 4	12.542	-34.642		28 23	11.294	-37.207
Avril	7 13	-10.945	33.840	Août	6 22	-12.536	34.749	Déc.	5 17	-11.237	36.951
	14 7	11.087	-33.720		13 14	12.529	-35.371		12 10	11.171	-36.778
	21 2	-11.181	33.369		20 8	-12.484	35.462		19 4	-11.133	36.561
	27 20	11.339	-33.289		27 1	12.457	-35.684		25 22	11.089	-36.139

CALENDRIER

Notations :

D : Date, jour du mois.

JOUR : Jour de la semaine.

JJ : Jour Julien à 12h.

JDA : Jour de l'année.

CALENDRIER 2009

JANVIER				FÉVRIER				MARS			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			0	0			31	0			59
1	Jeu	2454833	1	1	Dim	2454864	32	1	Dim	2454892	60
2	Ven	4834	2	2	Lun	4865	33	2	Lun	4893	61
3	Sam	4835	3	3	Mar	4866	34	3	Mar	4894	62
4	Dim	4836	4	4	Mer	4867	35	4	Mer	4895	63
5	Lun	4837	5	5	Jeu	4868	36	5	Jeu	4896	64
6	Mar	4838	6	6	Ven	4869	37	6	Ven	4897	65
7	Mer	4839	7	7	Sam	4870	38	7	Sam	4898	66
8	Jeu	4840	8	8	Dim	4871	39	8	Dim	4899	67
9	Ven	4841	9	9	Lun	4872	40	9	Lun	4900	68
10	Sam	4842	10	10	Mar	4873	41	10	Mar	4901	69
11	Dim	4843	11	11	Mer	4874	42	11	Mer	4902	70
12	Lun	4844	12	12	Jeu	4875	43	12	Jeu	4903	71
13	Mar	4845	13	13	Ven	4876	44	13	Ven	4904	72
14	Mer	4846	14	14	Sam	4877	45	14	Sam	4905	73
15	Jeu	4847	15	15	Dim	4878	46	15	Dim	4906	74
16	Ven	4848	16	16	Lun	4879	47	16	Lun	4907	75
17	Sam	4849	17	17	Mar	4880	48	17	Mar	4908	76
18	Dim	4850	18	18	Mer	4881	49	18	Mer	4909	77
19	Lun	4851	19	19	Jeu	4882	50	19	Jeu	4910	78
20	Mar	4852	20	20	Ven	4883	51	20	Ven	4911	79
21	Mer	4853	21	21	Sam	4884	52	21	Sam	4912	80
22	Jeu	4854	22	22	Dim	4885	53	22	Dim	4913	81
23	Ven	4855	23	23	Lun	4886	54	23	Lun	4914	82
24	Sam	4856	24	24	Mar	4887	55	24	Mar	4915	83
25	Dim	4857	25	25	Mer	4888	56	25	Mer	4916	84
26	Lun	4858	26	26	Jeu	4889	57	26	Jeu	4917	85
27	Mar	4859	27	27	Ven	4890	58	27	Ven	4918	86
28	Mer	4860	28	28	Sam	4891	59	28	Sam	4919	87
29	Jeu	4861	29					29	Dim	4920	88
30	Ven	4862	30					30	Lun	4921	89
31	Sam	4863	31					31	Mar	4922	90

AVRIL				MAI				JUIN			
D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA	D	JOUR	JJ à 12h	JDA
0			90	0			120	0			151
1	Mer	2454923	91	1	Ven	2454953	121	1	Lun	2454984	152
2	Jeu	4924	92	2	Sam	4954	122	2	Mar	4985	153
3	Ven	4925	93	3	Dim	4955	123	3	Mer	4986	154
4	Sam	4926	94	4	Lun	4956	124	4	Jeu	4987	155
5	Dim	4927	95	5	Mar	4957	125	5	Ven	4988	156
6	Lun	4928	96	6	Mer	4958	126	6	Sam	4989	157
7	Mar	4929	97	7	Jeu	4959	127	7	Dim	4990	158
8	Mer	4930	98	8	Ven	4960	128	8	Lun	4991	159
9	Jeu	4931	99	9	Sam	4961	129	9	Mar	4992	160
10	Ven	4932	100	10	Dim	4962	130	10	Mer	4993	161
11	Sam	4933	101	11	Lun	4963	131	11	Jeu	4994	162
12	Dim	4934	102	12	Mar	4964	132	12	Ven	4995	163
13	Lun	4935	103	13	Mer	4965	133	13	Sam	4996	164
14	Mar	4936	104	14	Jeu	4966	134	14	Dim	4997	165
15	Mer	4937	105	15	Ven	4967	135	15	Lun	4998	166
16	Jeu	4938	106	16	Sam	4968	136	16	Mar	4999	167
17	Ven	4939	107	17	Dim	4969	137	17	Mer	5000	168
18	Sam	4940	108	18	Lun	4970	138	18	Jeu	5001	169
19	Dim	4941	109	19	Mar	4971	139	19	Ven	5002	170
20	Lun	4942	110	20	Mer	4972	140	20	Sam	5003	171
21	Mar	4943	111	21	Jeu	4973	141	21	Dim	5004	172
22	Mer	4944	112	22	Ven	4974	142	22	Lun	5005	173
23	Jeu	4945	113	23	Sam	4975	143	23	Mar	5006	174
24	Ven	4946	114	24	Dim	4976	144	24	Mer	5007	175
25	Sam	4947	115	25	Lun	4977	145	25	Jeu	5008	176
26	Dim	4948	116	26	Mar	4978	146	26	Ven	5009	177
27	Lun	4949	117	27	Mer	4979	147	27	Sam	5010	178
28	Mar	4950	118	28	Jeu	4980	148	28	Dim	5011	179
29	Mer	4951	119	29	Ven	4981	149	29	Lun	5012	180
30	Jeu	4952	120	30	Sam	4982	150	30	Mar	5013	181
				31	Dim	4983	151				

INSTITUT DE MÉCANIQUE CÉLESTE ET DE CALCUL DES ÉPHÉMÉRIDES

OBSERVATOIRE DE PARIS

77, AVENUE DENFERT-ROCHEREAU, 75014 PARIS

Secrétariat : 01-40-51-21-28

Renseignements : 01-40-51-22-70

Directeur : William THUILLOT

Directeur adjoint : Alain VIENNE

CORPS DES ASTRONOMES ET DES ASTRONOMES ADJOINTS

Astronomes : William THUILLOT,
Patrick ROCHER.

Astronomes adjoints : Pascal DESCAMPS,
Daniel HESTROFFER,
Valéry LAINEY.

CORPS DES CHERCHEURS DU CNRS

Directeurs de recherche : Jean-Eudes ARLOT,
Jacques LASKAR.

Chargés de recherche : François COLAS,
Alain ALBOUY,
David SAUZIN,
Philippe ROBUTEL,
Benjamin LEVRARD.

CORPS DES ENSEIGNANTS-CHERCHEURS DES UNIVERSITÉS

Professeurs : Alain CHENCINER,
Alain VIENNE,

Maitres de conférences : Laurent NIEDERMAN,
Jacques FEJOZ,
Marc FOUCHARD,
Nicolas RAMBAUX,
Stéfan RENNER.

CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS DU CNRS

Ingénieurs de recherche : Mickaël GASTINEAU,
Jérôme BERTHIER,
Frédéric VACHIER.

Ingénieurs d'études : Christian RUATTI,
Mirel BIRLAN,
Julien LECUBIN,
Hervé MANCHE.

Assistants ingénieurs : Isabelle NICOLAS,
Salem TACINE,
Stéphane VAILLANT.

**CORPS DES INGÉNIEURS ET TECHNICIENS
DE RECHERCHE ET DE FORMATION**

Assistants ingénieurs : Sylvie LEMAÎTRE-POTTIER,
Christian BAKABADIO.

Techniciens : Maryse MARTINEZ,
Thérèse DEROUAZI,
Philippe DUHAMEL.
Luc TOUCHET.

ÉTUDIANTS pour l'année 2008

Thésitifs : Guillaume MORIN,
Julien BODOSSIAN,
Jocelyn COUETDIC,
Josselin DESMARS,
François FARAGO,
Petr KUCHYNKA,
Vincent ROBERT,
Gwenael BOUÉ,
Alin NEDELCU,
Julien FROUARD,
Pierre INIZAN.

BUREAU DES LONGITUDES

23, QUAI DE CONTI, 75006 PARIS

Bureau pour l'année 2008

Président : André LEBEAU
Vice-Président : Nicole CAPITAINE
Secrétaire : Pierre BAÜER

MEMBRES TITULAIRES

Jean-François DENISSE (*), membre de l'Académie des sciences, ancien président du CNES.
Jean KOVALEVSKY (*), membre de l'Académie des sciences, observatoire de la Côte d'Azur.
Bernard GUINOT, astronome honoraire, observatoire de Paris, correspondant de l'Académie des sciences.
Pierre GIACOMO, directeur honoraire du Bureau international des poids et mesures.
Roger CAYREL, astronome, observatoire de Paris.
Nicole CAPITAINE, astronome, observatoire de Paris.
Jean-Louis LE MOUËL, membre de l'Académie des sciences, institut de physique du globe de Paris.
Suzanne DÉBARBAT, astronome titulaire honoraire, observatoire de Paris.
Jean-Paul POIRIER, membre de l'Académie des sciences, institut de physique du globe de Paris.
Claude AUDOIN, directeur de recherche au CNRS, chercheur associé à l'observatoire de Paris.
François BARLIER, astronome honoraire, observatoire de la Côte d'Azur.
André LEBEAU, professeur, ancien président du CNES.
Pierre BAÜER, directeur de recherche au CNRS, centre national de recherches météorologiques.

MEMBRES EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

Gilles BESSERO, directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.
Marc PIERROT-DESEILLIGNY, directeur technique adjoint de l'Institut géographique national.
Stéphane JANICHEWSKI, directeur de la stratégie, des programmes et des relations internationales du CNES, Paris.
William THULLOT (°), astronome, directeur de l'Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.

(*) Au titre de l'Académie des sciences.

(°) Au titre de l'observatoire de Paris

MEMBRES CORRESPONDANTS

- Marcel GOLAY, professeur, ancien directeur de l'observatoire de Genève.
- Jean-Claude PECKER, membre de l'Académie des sciences, professeur au Collège de France.
- Pierre MERLIN, professeur, université de Paris I, président de l'institut d'urbanisme et d'aménagement de la Sorbonne.
- Raymond MICHARD, astronome titulaire honoraire, ancien président de l'observatoire de Paris.
- André BERROIR, professeur, ancien directeur de l'INSU.
- Gilbert AMAT, professeur honoraire, université de Paris VI.
- Michel LEPEVRE, ingénieur honoraire CNES, Groupe de recherches de géodésie spatiale, observatoire Midi-Pyrénées.
- Claude BOUCHER, ingénieur général des Ponts et Chaussées, Conseil général des Ponts et Chaussées
- Jean CHAPRONT, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.
- Jean-Claude DUPLESSY, directeur de recherche au CNRS, laboratoire des sciences du climat et de l'environnement.
- Jean-Eudes ARLOT, directeur de recherche au CNRS, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.
- François MIGNARD, directeur de recherche au CNRS, observatoire de la Côte d'Azur.
- Jacques HINDERER, directeur de recherche au CNRS, institut de physique du globe de Strasbourg.
- Viktor BRUMBERG, professeur, Institut d'astronomie appliquée, Saint-Pétersbourg.
- Jean-Claude HUSSON, membre de l'Académie de l'air et de l'espace, ancien président directeur général d'Alcatel Espace.
- Jean-Louis SIMON, astronome, Institut de mécanique céleste et de calcul des éphémérides.
- Georges BALMINO, ingénieur émérite CNES, ancien directeur exécutif du GRGS, observatoire Midi-Pyrénées.
- Michel CRÉPON, directeur de recherche au CNRS, institut Pierre Simon Laplace.
- Pascal WILLIS, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, institut de physique du globe de Paris.
- Sylvio FERRAZ-MELLO, professeur, université de São Paulo.
- Elisa Felicitas ARIAS, physicien chercheur principal, Bureau international des poids et mesures.
- Catherine TURON, astronome, observatoire de Paris.
- Christophe SOTIN, professeur, université de Nantes.
- José ACHACHE, professeur, directeur du secrétariat du Group on Earth observation.
- Catherine DE BERGH, directeur de recherche au CNRS, observatoire de Paris.
- Yves DESNOËS, ingénieur général de l'Armement, ancien directeur général du Service hydrographique et océanographique de la Marine.
- Frédérique RÉMY, directeur de recherche au CNRS, observatoire Midi-Pyrénées.
- Chantal BALKOWSKI, astronome, observatoire de Paris.

Secrétaire administratif : Michel TELLIER

ÉPHÉMÉRIDES ASTRONOMIQUES

2 0 0 9

Cet ouvrage d'éphémérides destiné aux astronomes, aux professeurs et aux étudiants est divisé en deux parties.

La première partie donne l'état actuel des connaissances sur les constantes astronomiques fondamentales, les échelles de temps, les systèmes de référence, la rotation de la Terre, les changements de coordonnées. On y trouve aussi les explications nécessaires au calcul des éphémérides à partir des tables numériques fournies dans la deuxième partie et à l'usage du logiciel accompagnant l'ouvrage.

La deuxième partie donne pour l'année en cours, sous forme d'éphémérides tabulées, le Temps sidéral, les nutations en longitude et en obliquité, les variables se référant aux nouveaux concepts définis par l'UAI (angle de rotation de la Terre, équation des origines, coordonnées du pôle céleste intermédiaire, angle s) et les coordonnées du Soleil, de la Lune et des planètes. Elle donne aussi les coordonnées différentielles tangentielles aux heures les plus proches des élongations des satellites de Mars, des satellites galiléens de Jupiter, des huit premiers satellites de Saturne et des cinq principaux satellites d'Uranus.

À partir de 2008, les éphémérides utilisées pour le calcul des positions des satellites des planètes Mars, Jupiter et Uranus sont désormais calculées à partir d'une nouvelle approche basée sur le modèle numérique NOE (Numerical Orbit and Ephemerides) développé à l'IMCCE. Ce nouveau modèle dynamique et les éphémérides associées font l'objet du chapitre sept de la première partie.

Des éphémérides électroniques accompagnent l'ouvrage et constituent maintenant les éphémérides de précision proprement dites. Elles permettent de calculer, d'une manière interactive, non seulement toutes les variables tabulées dans la *Connaissance des Temps* mais aussi les coordonnées horizontales et les levers et couchers des astres. Elles sont donc bien adaptées à la préparation d'observations.

La *Connaissance des Temps* a été créée en 1679 par Joachim Dalancé. Cette édition, publiée sous la responsabilité du Bureau des longitudes depuis 1795, est la 330^e d'une éphéméride qui a paru sans interruption depuis sa création.



37 euros

978-2-7598-0350-7

www.edpsciences.org



EDP
SCIENCES